Elektricität der Thiere.

In diesen Abschnitt der Physiologie der Thiere gehören zwei verschiedene Reihen von Erscheinungen. 1) Wie die Natur vielen Geschöpfen mechanische oder chemische Mittel verleiht, um sich entweder zu vertheidigen oder ihre Beute zu erhaschen und in einen zur Verspeisung geeigneten Zustand zu versetzen, so gewährt sie einzelnen thierischen Wesen die Fähigkeit, starke elektrische Entladungen unter gewissen Umständen zu erzeugen und den Feind auf diese Art zu betäuben oder zu erlegen. Nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen gehören alle Thiere, welche solche Fähigkeiten besitzen und zu diesem Zwecke mit eigenen peripherischen Werkzeugen, den sogenannten elektrischen Organen, ausgerüstet sind, zu der Klasse der Fische und zwar entweder zu den Plagiostomen oder den Weichflossern (und vielleicht den Stachelflossern oder den Haftkiefern unter den Grätenfischen). Man nennt sie Zitterfische oder elektrische Fische. 2) Die chemische Eigenthümlichkeit der organischen Körper überhaupt und der thierischen und menschlichen insbesondere, die Heterogenität der Bestandtheile der Organe und Gewebe, läßt theoretisch voraussetzen, daß sie im Stande seien, unter gewissen Verhältnissen elektrische Spannungen und Strömungen hervorzurufen. Es stellt sich hierdurch zunächst die Aufgabe, die Contactelectricität der Thiere und des Menschen zu studiren und zu untersuchen, ob die während des Lebens regen Thätigkeiten darauf einfließen, oder ob nur die physikalisch-chemischen, auch nach dem Tode vor eintretender Fäulniß sich erhaltenden Eigenschaften der thierischen Theile das Bestimmungsglied ausmachen. In Betreff der nur während des Lebens und kurz nach dem Tode zum Vorschein kommenden Energieen stellt sich noch eine Nebenfrage, ob nämlich durch einzelne Lebensthätigkeiten, vorzüglich durch die Strömungen des Nervenfluidums, elektrische Ströme erregt werden können. Man bezeichnet dieses ganze, aus heterogenen Theilen zusammengesetzte Gebiet mit dem nicht ganz richtigen Namen der animalischen Elektricität im engeren Sinne.

I. Elektricität der Zitterfische. Die über dieselbe anzustellende Untersuchung zerfällt in einen anatomischen und einen physikalisch-physiologischen Theil. Der erstere schildert die electrischen Organe nebst den übrigen Apparaten, welche auf die Thätigkeit derselben einen wesentlichen Einfluß haben, vorzüglich die Nerven derselben und die den letzteren entsprechenden Centraltheile des Nervensystems. Der physikalisch-physiologische Theil untersucht die äußeren und die inneren Bedingungen, unter welchen die elektrischen Schläge zu Stande kommen und die Eigenschaften, welche die entwickelte Elektricität darbietet. Erst wenn beide Abtheilungen der genannten Forschungsreihen vorliegen, kann der Versuch gemacht werden, durch eine Theorie zu erklären, auf welchem Wege die Natur ihre elektrischen Ap-

parate in elektrischen Organen zu Stande bringt und auf welche Art es möglich wird, daß die Entladungen nach Regulation des Nervensystemes des Zitterfisches zu Stande kommen und so erst dem Thiere von Nutzen werden.

Die bis jetzt genauer bekannten Zitterfische sind 1) aus der Familie der Rochen, der Ordnung der Plagiostomen, unter den Knorpelfischen, die Zitterrochen der Europa umspülenden Meere, Torpedo (T. narke s. marmorata u. T. galvanii), und die der Küsten Brasiliens, Narcine (N. brasiliensis), 2) aus der Familie der Aale unter den Kahlbäuchen, aus der Ordnung der Weichflosser, der Zitteraal (Gymnotus electricus), oder aus der Familie der Welse unter den Bauchflossern, aus der Ordnung der Weichflosser, der Zitterwels, Malapterurus (Silurus) electricus. Die Zitterrochen finden sich in dem ganzen Bassin des Mittelmeeres, in dem atlantischen Ocean und bisweilen (wahrscheinlich durch Verirrung) in der Nordsee, die Zitteraale in Flüssen und Landseen des südlichen Amerika's, vorzüglich von Guyana, die Zitterwelse im Nil, dem Niger und andern Flüssen Afrika's. Alle diese Thiere, vorzüglich die Zitterrochen und die Zitteraale, sind in denjenigen Gegenden, welche ihre Heimath ausmachen, in reichlicher Menge vorhanden. Nach älteren Nachrichten werden noch mehre andere Fische, wie von Rochen Rhinobatus electricus, von Haftkiefern Tetrodon electricus und von den Bandfischen aus den Stachelflossern Trichiurus electricus aufgeführt. Allein diese Angaben sind noch als sehr problematisch anzusehen. Wir werden sehen, daß wenigstens der eine der genannten drei Fische, den anatomischen Ergebnissen nach, den elektrischen Fischen nicht beizuzählen sein dürfte.

A. Zitterrochen. Bei den Zitterrochen der alten, wie der neuen Welt findet sich auf jeder Seite nur ein einfaches elektrisches Organ. Es liegt in der vorderen Körperhälfte des Thieres nach innen von der großen Seitenflosse, und nach außen von den knorpeligen Hüllen des Gehirns und des Rückenmarks nebst der dazu gehörenden Muskulatur, nach außen von den auf der oberen Fläche des Thiers befindlichen Augen und Sprützlöchern, so wie den an der Unterfläche liegenden Oeffnungen der Kiemen und des Mundes, ist, der Totalform des Thiers entsprechend, plattgedrückt, stößt oben und unten mittelbar an die äußere Haut, außen an den langen Randknorpel, innen vorzüglich an die Schädel- und Rumpfmuskeln, zeigt an denjenigen Flächen, welche der Haut anliegen, polygonale bis polygonal-rundliche, dem Pflanzenzellgewebe ähnliche Figuren, sonst dagegen parallele Bandstreifen, von denen jedes eine Menge von Scheidewänden so aufgeschichtet enthält, wie wir die Metallplatten zur Aufbauung einer galvanischen Säule zusammenlegen, ist im frischen Zustande von weißgelblicher und in Weingeist von mehr gelblicher Färbung, hat mit der Muskelsubstanz nur die äußere Farbenähnlichkeit, zeigt aber sonst seinem Baue und seinen Eigenschaften nach nicht die geringste Verwandtschaft mit demselben und wird daher reichlich mit Nerven, deren geringerer Theil von dem N. trigeminus, deren größere Menge von dem (motorischen Theile des) N. vagus kommt, versorgt.

a) Europäischer Zitterrochen. Torpedo narke (mit Augenflecken am Körper) und T. galvanii (mit gezackten Rändern der Sprützlöcher).

Fig. 1.



Da hier der Kopf quer abgestutzt ist und die Augen und die Sprützlöcher verhältnißmäßig weit nach vorn liegen, so reicht auch das elektrische Organ (Fig. 1. *a*.) bis dicht an den Vorderrand des Kopfes. Es ist von oben nach unten abgeplattet und zusammengedrückt, hat im Ganzen eine länglich-runde Gestalt, erscheint vorn breiter als hinten, hat vorn einen schwach convexen Rand, der nach außen etwas tiefer steht als nach innen, einen äußeren, dem Knorpel der Seitenflosse *c* anliegenden und einen inneren Rand, während es, von der Rückenseite betrachtet, nach hinten mehr spitz zuzulaufen scheint. Seine obere Fläche stößt mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches. Seine äußere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere, an der Muskulatur des Kopfes und des vorderen Theils des Rumpfes. Schon seinem äußeren Ansehen nach, bietet das elektrische Organ nach den genannten Flächen Verschiedenheiten dar. Die obere sowohl, als die untere Fläche zeigt pflanzenzellgewebeartige polygonale bis polygonal-rundliche Abtheilungen (Fig. 1 *a*. Fig. 2.). Die äußere sowohl als die innere, so wie die senkrecht bis schiefstehende hintere Fläche bietet longitudinale Scheidewände, in welchen die kleinen Septa, bei Weingeistexemplaren meist etwas wellenförmig gebogen, über einander geschichtet liegen (Fig. 3.), dar. Man kann sich nämlich den Bau des Organs am besten auf folgende Weise anschaulich machen. Es besteht aus einer Menge von drei- bis sechseckigen bis rundlichen, von oben nach unten senkrecht gestellten Gebilden, von denen jedes einer aufgebauten galvanischen Säule gleicht und die wir daher auch kurz mit dem Namen der Säulen bezeichnen wollen. Die Randbegränzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnigte Membran, die wir mit dem Namen der aponeurotischen Scheidewand belegen, welche scheinbar dieselben Dienste, wie die seitlichen Glasstäbe einer aufgebauten galvanischen Säule leistet, und, wie wir bei der Theorie der Wirkung der Zitterfische sehen werden, vielleicht als Isolator wirkt. Innerhalb jeder dieser Säulen sind eine große Menge von Blättchen, welche wir als Septa bezeichnen wollen, quer aufgeschichtet. Bei der Ansicht von der oberen oder der unteren Seitenfläche, erscheinen diese Säulen von oben oder von unten betrachtet. Man sieht daher ihre polygonalen bis polygonal-rundlichen, durch die Scheidewände begränzten Flächen nebst der ganzen oberen Fläche des obersten oder der ganzen unteren Fläche des untersten Septums. An den Seitenflächen dagegen betrachtet man die Säulen von der Seite und erkennt daher die Randbegränzungen der aponeurotischen Scheidewand als zwei helle senkrechte Linien, innerhalb welcher die

Fig. 2.

a

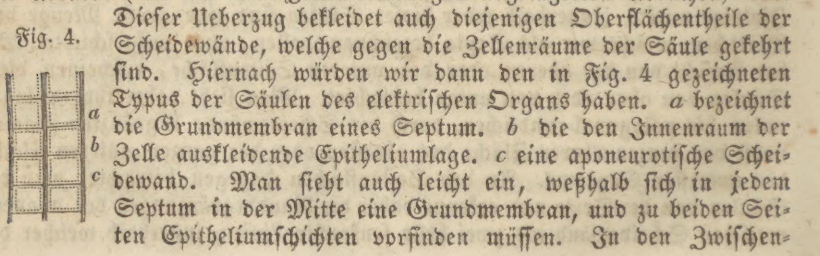
Fig. 3.

Septa sich quer bis quer wellig gebogen darstellen. Gegen diese Anschauungsweise des Baues des elektrischen Organs, ließe sich auf den ersten Blick noch einwenden, daß man oft an den Septis der oberen oder der unteren Fläche ebenfalls Streifen sieht, wie dieses in Figur 2 auch angedeutet worden. Allein diese Streifen rühren entweder davon her, daß das oberste Septum erschlafft ist und sich faltet, oder daß tiefere Septa verschoben sind, und durch ihr Hindurchscheinen jene Streifenansicht hervorrufen.

John Hunter zählte in dem elektrischen Organe eines Zitterrochens von gewöhnlicher Größe 470 und in denen eines 4½ Fuß langen Exemplars 1182 solcher Säulen. Bei dem männlichen Torpedo galvanii von 10″ 5‴ Länge und 5″ 6‴ größter Breite, nach dem Figur 3 gezeichnet ist, zählte ich, indem ich mir jedes Feld mit einem Punkt Dinte bezeichnete, 410 Säulen. Die mittlere Höhe der Säule betrug 2‴, die nach hinten von dem vorderen Rande des Organs entfernte 4‴, in der Mitte der Länge desselben 7‴, und 2‴ nach vorn von dem hinteren Ende entfernt 4,5‴. Dieses würde dann eine mittlere Höhe von 5,2‴ geben. Nun fand sich nach mikrometrischen Messungen, welche auf feinen senkrechten Longitudinalschnitten angestellt wurden, daß ungefähr 59 Septa auf eine Linie kommen. Nach der obigen Mittelhöhe enthielte dann ein elektrisches Organ des obigen Torpedo galvanii ungefähr 125788 und der ganze elektrische Apparat des Thieres 251576 Septa. Diese Schätzungszahl dürfte übrigens eher zu klein als zu groß ausgefallen sein. Bei einem Embryo von Torpedo galvanii von 3″ 1,5‴ größter Länge und 1″ 8‴ größter Breite zählte ich ungefähr 298 Säulchen. Die mittlere Höhe der letzteren betrug ungefähr 1‴, auf eine Linie Höhe ergaben sich im Mittel ungefähr 166 Septa oder Platten. Die Gesammtzahl der letzteren betrug daher ungefähr 49468. Hieraus ergiebt sich aber, daß sich mit fernerem Wachsthum die Zahl der Plattenpaare vermehrt, daß die Säulen höher werden und auch an Zahl zunehmen. Ob aber die von Hunter aufgestellte Vermuthung, daß jedes Jahr eine neue Säulenreihe in der Peripherie abgelagert werde, richtig sei, steht dahin. Allerdings bemerkt man bisweilen Säulchen von kleinerem Umfange gegen den Rand und nach hinten hin.

Die Scheidewände sind hier feiner gebaut, als wir sie bei dem Zitteraale antreffen werden, und bestehen in ihrer Grundmasse aus eigenthümlichen sehnigten bis sehnigt-elastischen Faserbündeln. Die Septa enthalten eine mittlere Grundmembran und zwei auf beiden Seiten der letzteren aufliegende Epithelialschichten. Die Grundmembran bildet ihrer Hauptmasse nach eine sehr verdünnte Fortsetzung der Scheidewand und erscheint an und für sich durchsichtiger und bei geeigneten Präparaten feinfaserig. Die auf ihren beiden freien Oberflächen befindlichen Epitheliallagen bilden einen Körnerüberzug und stellen vielleicht im ganz frischen Zustande Epithelialzellen mit Kernen (und an den Zellenwandungen abgelagerten Körnchen) dar.

Fig. 4.



Dieser Ueberzug bekleidet auch diejenigen Oberflächentheile der Scheidewände, welche gegen die Zellenräume der Säule gekehrt sind. Hiernach würden wir dann den in Fig. 4 gezeichneten Typus der Säulen des elektrischen Organs haben. *a* bezeichnet die Grundmembran eines Septum. *b* die den Innenraum der Zelle auskleidende Epitheliumlage. *c* eine aponeurotische Scheidewand. Man sieht auch leicht ein, weßhalb sich in jedem Septum in der Mitte eine Grundmembran, und zu beiden Seiten Epitheliumschichten vorfinden müssen. In den Zwischen-

räumen zwischen den Septis existirt eine Flüssigkeit. Wir können uns daher auch jede Säule so denken, als sei sie aus einer Menge von parallelopipedischen Kästchen aufgebaut. Die letzteren haben doppelte Wandungen, eine innere, die Epitheliallage, und eine äußere, die Grundmembranen der Septa und die aponeurotischen Scheidewände. Die horizontalen Theile der Wände (Grundmembranen der Septa) sind gewissermaßen von einander geschieden, die senkrechten dagegen in benachbarten Säulen zu der einen aponeurotischen Scheidewand verbunden.

Hat man nun ein einzelnes Septum der Fläche nach ausgebreitet, so erkennt man unter dem Mikroskope in ihm sehr gut, selbst in Weingeistexemplaren, die Ausbreitung der feinsten Blutgefäße und Nerven. Beide verlaufen in verschiedenen Höhen. Irre ich nicht, so liegen die Endgeflechte der Nerven mehr nach der oberen oder Rücken-, die feinsten Blutgefäßnetze nach der unteren oder Bauchseite jedes Septums hin. Doch kann ich diese Vermuthung in ihrer Allgemeinheit nur als sehr problematisch hinstellen. Die Endplexus der Nerven gleichen im hohen Grade denjenigen Endgeflechten, welche wir in den mit quergestreiften Muskelfasern versehenen Gebilden der Wirbelthiere und des Menschen wahrnehmen. Daß die elektrischen Organe sehr viele Blutgefäße und Nerven erhalten, hat schon Hunter mit Recht angemerkt.

Die oben dargestellten Resultate kann man mit einiger Geduld durch die mit Hülfe des Mikroskopes vorgenommenen Untersuchungen von Weingeistexemplaren erlangen. Künstliche Erhärtung, wie sie häufig, besonders von italienischen Forschern, vorzüglich Frioli, angewendet wurden, vermögen nur im Allgemeinen dasjenige, was man auf den ersten Blick sieht, daß nämlich in jeder Säule die Septa gleich den Plattenpaaren einer galvanischen Säule aufgeschichtet sind, zu bekräftigen. Weiter führen solche Methoden nicht.

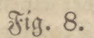
Die chemische Analyse ergab Matteucci im Mittel 90,34% Wasser und 9,66% feste Bestandtheile. Diese enthielten 47,6% in kaltem Alkohol, 13,5 in Wasser lösliche und 38,9 in Alkohol unlösliche Stoffe.

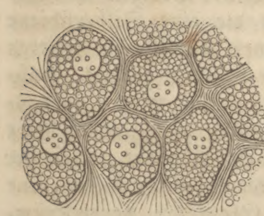
Vier größere Nervenstämme treten jederseits in der Richtung von innen nach außen in das elektrische Organ (Fig. 1 *d e f g*) und bestimmen gewissermaßen die Gränze zwischen der oberen und der unteren Hälfte der inneren Fläche des elektrischen Organs, der vorderste Nervenstamm gehört dem N. trigeminus an. Hat man die Theile von der Rückenseite präparirt, so sieht man, daß der dreigetheilte Nerv einen sich bald vielfach spaltenden Hauptstamm (ungefähr dem R. ophthalmicus entsprechend) gerade nach vorn gegen die Sprützlöcher, das Auge, den Schädel mit seinen Weichgebilden, und die Haut der Mitte des Vorderrandes des Thieres hin absendet; dann folgt nach außen ein zweiter starker Ast (ungefähr R. maxillaris superior), der, sich theilend, den äußeren, viel größeren Theil des Vorderrandes des Thieres versorgt, dann den vorderen und den äußeren Rand des elektrischen Organs umkränzt, keine Zweige von Bedeutung in dasselbe schickt und sich in der Haut, bis noch weit hinter den elektrischen Organen vertheilt. Endlich kommt noch ein dritter, sehr starker Hauptstamm, dessen größte Masse den elektrischen Ast des dreigetheilten Nerven bildet (Fig. 1 *d*). Er geht zuerst nach hinten und außen, ertheilt einen Ast, der in den vor ihm liegenden hervorstehenden muskulösen Winkeltheil eindringt, und dann in der Tiefe nach vorn und gegen die Unterlippe verläuft (R. maxillaris inferior), biegt dann mit seinem bei weitem dicksten Theile (R. electricus N. trigemini) hin-

ter dem genannten Winkeltheile nach vorn um und verbreitet sich in gabeligen Verzweigungen in der inneren Parthie des vordersten Theiles des elektrischen Organs. Die meisten, wo nicht alle Bündel dieses dritten Astes entspringen hinter den Lobis opticis, hinter und zum Theil unter dem Cerebellum und vor und unter den Lobis ventriculi quarti aus dem vordersten und seitlichen Theile der Medulla oblongata, tiefer, als die übrigen Fascikel des dreigetheilten Nerven, beurkunden sich so als Portio minor s. motoria und gehen dünnere Anastomosen mit den beiden anderen Aesten ein. Die drei anderen elektrischen Hauptnervenstämme gehören zu dem System des N. vagus. Der vorderste von ihnen ist der stärkste, noch bedeutend stärker als der R. electricus N. trigemini, und versorgt die äußere Parthie des Vordertheils und eine geringe Portion des Mitteltheils des elektrischen Organs. Der mittlere R. electricus N. vagi ist schwächer und versieht die mittlere und den Anfang der hintern Portion des elektrischen Apparats. Der hinterste ist der schwächste, und vertheilt sich in die hinterste Abtheilung des elektrische Schläge erregenden Werkzeuges. Zu dieser geht dann noch ein hinterster feiner Faden des N. vagus. Ordnen wir diese vier Hauptstämme ihrer Dicke nach in aufsteigender Linie, so haben wir R. electricus postremus N. vagi, R. e. N. trigemini, R. e. medius N. vagi und R. e. anterior N. vagi. Bei dem oben erwähnten Torpedo galvanii, wo die größte Länge des elektrischen Organs 3″ 4‴, die größte Breite desselben 1″ 5‴ betrug, hatte der R. e. postremus N. vagi eine Dicke von 0,8‴; der R. e. N. trigemini eine solche von 0,9‴; der R. e. medius N. vagi eine solche von 1,2‴, und der R. e. anterior eine solche von 1,4‴. Verfolgt man diese Stämme rückwärts, so sieht man, daß sie zwischen den Kiemen mit ihren Gerüsten hindurchtreten, gegen das centrale Nervensystem convergiren und hier seitlich an dem verlängerten Marke mehr gegen die Bauchfläche hin entspringen. Hierbei findet eine Alternation mit den Kiemen Statt. Es gehen nämlich immer dünnere Zweige zu den Kiemen und deren härteren und weicheren Gerüstgebilden. Die Kiemenzweige haben, wie Bendz bemerkte und ich ebenfalls bestätigen kann, ganglïöse Anschwellungen mit peripherischen Nervenkörpern, während sich in den weit stärkeren Bündeln der elektrischen Nerven nichts der Art vorfindet. Entweder kann man daher, wie Bendz annimmt, die elektrischen Nerven als ganz eigenthümliche betrachten, oder vielleicht richtiger folgendermaßen deuten. Wir haben gesehen, daß der R. electricus N. trigemini zur motorischen Portio minor des dreigetheilten Nerven gehörte. Da wo die N. N. vagus und accessorius vollständig ausgebildet und geschieden sind, kann man bekanntlich den ersteren als den sensiblen, den letzteren als den motorischen Antheil eines zweiwurzeligen Hirnnerven ansehen. Wo keine solche Scheidung stattfindet, tritt auch in dem N. vagus eine größere Beimischung von motorischen Fasern ein. Schon bei den Reptilien, wo sich der N. accessorius auf ein kürzeres Wurzelfädchen und bisweilen auf ein Rudiment eines R. externus reducirt, müssen in dem N. vagus eine große Menge motorischer Fasern, die sonst dem N. accessorius zukommen, enthalten sein. Bei dem Zitterrochen erreichte nun die Quantität der motorischen Fasern das Maximum ihres Uebergewichts. Sie erschienen als die starken elektrischen Aeste, während die sensiblen vorzüglich zu den Kiemen, den Eingeweiden und der Haut gingen. Aus den Kiemenzweigen dringen noch einzelne Reiser gegen das elektrische Organ hin.

Fig. 7.

Das Gehirn des Zitterrochen zeichnet sich dadurch aus, daß die Lobi ventriculi quarti bedeutend groß sind, sich in ihren starken Nervenkörpern sehr intensiv ausbilden und zu dem vorzüglichen Centralorgane des elektrischen Apparats werden. Man belegt sie daher auch mit dem Namen, der elektrischen Lappen, Lobi electrici. Fig. 7 stellt den senkrechten Longitudinaldurchschnitt eines Gehirns von Torpedo galvanii, mit dem des von T. narke übereinstimmt, dar. *a* bezeichnet den Hemisphärenlappen der rechten Seite (Lobus hemisphaericus dexter), *b* den zum Theil verdeckten Sehlappen (Lobus opticus), *c* das kleine Gehirn (Cerebellum), *d* den Lappen des vierten Ventrikels oder den elektrischen Lappen (Lobus ventriculi quarti s. electricus), *e* das verlängerte Mark (Medulla oblongata), *f* das Rückenmark (Medulla spinalis) und g untere Lappen und Hirnanhang (Lobi inferiores et hypophysis). Der mikroskopische Bau des elektrischen Lappens bietet eine besondere Eigenthümlichkeit dar. Schon dem freien Auge nämlich zeigt sich dieses Gebilde von einer auffallend gelben Farbe. Man hat es daher auch mit dem Namen der gelben Lappen (Lobi citrini) belegt. Untersucht man einen feinen Schnitt derselben unter dem Mikroskope, so sieht man sehr große, sogar schon deutlich mit freiem Auge wahrzunehmende Nervenkörper oder Belegungskugeln, welche deutliche keimbläschenartige Kerne mit nucleolis zeigen, wie die in Fig. 8 gezeichnet sind. Um und zwischen den Nervenkörpern befinden sich faserige Scheidenformationen, ähnlich, wie sie sonst bei den peripherischen Nervenkörpern oder den Ganglienkugeln vorkommen. Man könnte nun zunächst glauben, daß diese colossalen Nervenkörper es seien, welche die elektrischen Effecte ursprünglich bedingen. Allein aus den Verhältnissen des elektrischen Lappens des Zitteraales, werden wir ersehen, daß solche große Nervenkörper keine nothwendigen Bedingungen eines elektrischen Lappens sind. Dort soll auch erörtert werden, aus welchen Gründen sie in den Lobis electricis von Torpedo existiren.


Fig. 8.



Die elektrische Kraft des Zitterrochens mußte bei der Häufigkeit des Vorkommens dieser Thiere im Mittelmeere schon den Alten bekannt werden. In der That finden wir auch schon bei Aristoteles Nachrichten darüber. Allein die Ursache der Wirkungsweise dieser Thiere blieb Jahrtausende lang unbekannt. Man lieferte nur hypothetische Erklärungsweisen, von denen diejenigen, welche mechanische Verhältnisse für den Grund des elektrischen Schlages aufsuchten, die Hauptrolle spielten. Muschenbroek schrieb zuerst die Ursache des Phänomens der Elektricität zu, und Walsh, der sich mit besonderer Vorliebe dem Studium der Zitterfische ergab, und der auch John Hunter die Anregung verschaffte, seine anatomischen Beobachtungen über den Zitterrochen und den Zitteraal anzustellen, bekräftigt dasselbe. Die seit jener Zeit von ihm, Pringle, Magellan, Ingenhouß, Fahlberg, Spallanzani, Alex. von Humboldt, Bonpland, Gay-Lussac, Todd, Humphrey Davy, John Davy, Colladon, Linari, Matteucci, Faraday, Schönlein und Watkins, unternommenen zahlreichen Versuche haben es hinreichend nachgewiesen, daß man

es bei den Zitterfischen mit der gewöhnlichen physikalischen Elektricität zu thun habe, wenn auch mehre Umstände der Elektricitätserregung und Elektricitätsleitung dieser Thiere noch nicht vollkommen nach den bekannten Gesetzen der physikalischen Elektricität erörtert werden können.

Die Schläge des Zitterrochens theilen die meisten Eigenschaften der gewöhnlichen elektrischen Entladungen. 1) Sie erregen, wie man sich leicht überzeugen kann, ähnliche Empfindungen, wie die gewöhnlichen elektrischen Schläge. 2) Durch künstliche Apparate kann man auch dahin gelangen, daß im Momente des Schlages des Zitterrochens ein elektrischer Funken sichtbar wird. Während dieses älteren Forschern, von Walsh bis John Davy nicht glücken wollte, haben in neuester Zeit Linari und Matteucci Mittel, das Experiment mit Erfolg auszuführen, angegeben. Man nahm einen (577 Meter) langen Kupferdraht, und bildete aus ihm drei wurstförmige Schneckengänge und drei ebene Spiralen. In dem Innern des einen Schneckenganges befand sich ein Cylinder von weichem Eisen von 0,635 M. Länge und 0,31 M. Durchmesser. Die mit einander in Verbindung stehenden Drahtwindungen endigten in zwei mit isolirenden Handgriffen versehenen Silberschienen. Der den letzten Schneckengang mit der einen Silberschiene verbindende Theil des Drahtes war unterbrochen. Die hier amalgamirten Drähte tauchten in Quecksilber. Wurde nun die eine Silberschiene an den Rücken, die andere an den Bauch des auf einer Glasscheibe isolirten Fisches applicirt und das Thier durch Entladung der Kiemen gereizt, während man das eine Drahtende aus dem Quecksilber hob und wieder in dasselbe eintauchte, so erschien ein Funke. Dieser zeigte sich auch, wenn beide Drahtenden gegen einander gerieben wurden. Da dieser Apparat jedoch nur einen Deductionsfunken gab, so wählten die genannten Physiker später eine einfachere Vorrichtung. In eine Uförmig gebogene Glasröhre, deren Krümmung mit Quecksilber gefüllt war, ragten zwei Eisendrähte so tief hinein, daß ihre Enden weniger als 1‴ von den beiden Quecksilberoberflächen entfernt waren, und andererseits mit den leitenden, an ihren freien Enden mit Platin überzogenen, möglich kurzen Drähten in Verbindung gebracht werden konnten. Auch hier strahlten dann zwischen Eisen und Quecksilber sehr helle Funken aus. Auf noch einfacherem Wege erhielt sie Matteucci, wenn er zwei Goldblättchen in einer Distanz von ½ Mm. an eine metallische Leitung mit Gummi anklebte und diese an das Thier applicirte. 3) Während frühere Beobachter, wie Walsh, Volta, Alex. von Humboldt und Gay-Lussac, keine Wirkung auf das Elektrometer wahrnehmen konnten, fanden Linari und Matteucci an einem sehr feinen Elektroskope Deviation der Goldblätter. Schon hier zeigte sich, worauf wir in der Folge ausführlicher zurückkommen werden, der Rücken in Verhältniß zu dem Bauche positiv. 4) Wie durch Elektricität, so erfolgt schon nach den Beobachtungen von Galvani durch den Schlag des Zitterrochens Contraction in dem präparirten Froschschenkel. Nach Matteucci müssen jedoch hierbei Muskel und Nerve, oder Haut und Nerve mit dem Zitterfische in Berührung sein. Bringt man nun den aus dem isolirten Unterschenkel hervorragenden Hüftnerven in Contact, so erfolgt keine Wirkung, während der nicht isolirte auch in diesem Falle zuckt. Es bliebe noch zu untersuchen, ob nicht etwa Zuckungen entstehen, wenn man gleichzeitig im Momente des Schlages den Nerven von dem Thiere entfernt, gleichwie man bei dem Auflegen des bloßen Nerven auf eine Zinkplatte keine, bei dem Hinwegziehen dagegen eine Oeffnungszuckung erhält. 5) Körper, welche die physikalische Elektricität leiten,

sind auch Leiter, Isolatoren der ersteren, auch Isolatoren der Schläge des Zitterrochens. So werden beide Arten von Strömungen durch Wasser und Metalle geleitet, durch Glas, Harz, Seide isolirt. Allein eigenthümlich erscheint es auf den ersten Blick, daß die durch den Schlag des Zitterrochens frei werdende Elektricität sich nicht im Wasser vertheilt, sondern ihre bestimmte intendirte Richtung beibehält. Wäre dieses nicht der Fall, so würden natürlich im Meere die noch so starken Schläge des Zitterrochens auf Null reducirt. Der elektrische Apparat wäre für das Thier keine Waffe mehr und ohne allen Nutzen. Wir werden auf diesen Punkt bei dem Zitteraale und bei den allgemeinen Betrachtungen über die elektrischen Fische zurückkommen. Ein eigenthümliches Verhalten gegen Metalle, welches bei dem Zitteraale nicht vorhanden ist, beobachteten noch Alex. von Humboldt und Gay-Lussac [1]). Bei mittelbarer Berührung durch einen Schlüssel, eine Nadel oder eine Metallplatte, wird kein Schlag durch die Entladung des Thieres empfunden. Dasselbe ist der Fall, wenn das Thier zwischen zwei einander berührenden Kupferplatten sich befindet. Sind dagegen die beiden Metallplatten in keinem unmittelbaren Contact unter einander, oder berührt die eine Hand das Kupfergefäß, in welchem der Zitterroche ruht, die andere die Oberfläche des Thieres selbst, so werden die Schläge in beiden Händen empfunden. Gleich der gemeinen Elektricität werden die Entladungen des Torpedo durch eine Kette von Personen, vorzüglich wenn die Hände benetzt worden, und so die isolirende Wirkung ihrer Haut aufgehoben ist, fortgepflanzt. 6) Auch den Entladungen des Zitterrochens kommen elektrochemische Wirkungen zu. Schon unmittelbar sieht man dieses, wenn man, wie Matteucci that, Bauch- und Rückenfläche des Thieres mit Platinblättern bedeckt und die freien Enden der letzteren mit befeuchtetem Jodkaliumpapier in Verbindung bringt. Nach einigen Entladungen bemerkt man die ersten Anfänge der Jodabscheidung. John Davy, welcher zuerst diese elektrochemischen Effecte nachwies, bediente sich der bekanntlich noch sensibleren Verbindung von Jodkalium und Stärke, und zersetzte auch salpetersaures Silberoxyd, Kochsalz u. dergl. auf diesem Wege. Ob die durch den Zitterrochen bewirkte elektrochemische Zersetzung von Funkenbildung, die in dem gleichen Falle bei dem Zitteraale oft wahrgenommen worden ist, begleitet sei, ist noch nicht untersucht. 7) So viel ich weiß, hat außer Davy Keiner noch genauer experimentirt, um die durch den elektrischen Strom des Torpedo entstehende Wärmeerhöhung zu prüfen; daß sie vorhanden sei, ist kaum zu bezweifeln. Auch sprechen die von dem genannten Forscher mittelst eines Harris'schen Elektrometers angestellten Untersuchungen dafür. 8) Die Erregung magnetischer Strömungen durch die während der Entladung des Zitterrochens frei werdende Elektricität, haben zuerst Blainville und Fleuriau, so wie John Davy nachgewiesen. Die am Galvanometer zu erhaltende Declination der Magnetnadel ist von allen neueren Beobachtern wahrgenommen worden. Doch eignen sich hierzu nicht alle Galvanometer, besonders nicht die, welche für elektrochemische Strömungen sehr empfindlich sind. Am zweckmäßigsten erschienen den neueren französischen und italienischen Forschern die Colladon'schen. Ein ¼ Mm. dicker, doppelt mit Seide umsponnener und mit Gummilack gefirnißter Kupferdraht macht bei diesem Instrumente um eine astatische Magnetnadel 600 Windungen.

[1]) Annales de chimie. T. 56 p. 18. Voyage. Recueil d'observations de Zoologie et d'anatomie comparée. Livr. III. p. 122. 123.

An die beiden Drahtenden sind Platinblätter angelöthet. John Davy machte auch Eisennadeln, um welche ein Metalldraht mit 108 Windungen gedreht war, durch die Entladungen des Torpedo magnetisch.

Schon Spallanzani wußte es, daß eine gewisse Polarität zwischen der Rücken- und der Bauchfläche des elektrischen Organs stattfinde. Alle neueren Beobachter stimmen darin überein, daß im Moment der Entladung die Rückenseite positiv, die Bauchseite negativ sei. Eben so soll die obere Hälfte der innern Seite gegen die untere positiv sein. Bei Weingeistexemplaren zeigen sich diese constanten Polaritäten nicht mehr erhalten. Nach Colladon weicht die Magnetnadel seines Galvanometers um 20 — 30° ab, sobald man zwei asymmetrische Stellen des Rückens und des Bauches berührt. Die Strömung selbst wird um so schwächer, je weiter die elektrischen Organe von der Berührungsstelle entfernt sind; daß sie endlich Null werde, wenn man zwei (lateral) symmetrische Stellen des Rückens oder des Bauches berührt, ist keine besondere Eigenthümlichkeit des Zitterrochens, sondern findet sich, wie wir sehen werden, auch bei dem Frosche und wahrscheinlich bei allen Thieren. Auch die Richtung der von außen her einströmenden Elektricität, welche dann als Entladungsreiz wirkt, hat einen bestimmten regulirten Einfluß. Nach Matteucci nämlich erhält man sehr kräftige Entladungen eines eben getödteten Torpedo, wenn der negative Pol einer aus 20 Zink-Kupferplattenpaaren von 4 Quadratcentimeter Oberfläche bestehenden, und durch Meerwasser nebst $^1/_{10}$ Salpetersäure verbundenen galvanischen Säule in das elektrische Organ nahe am Rücken, der positive in den elektrischen Lappen eingefügt wird. Berührt umgekehrt der positive Pol das Organ, der negative den Lappen, so fehlt dieser Effect. Halten wir uns an das marianinische Gesetz, daß centripetale Strömungen der Elektricität auf die sensiblen, centrifugale auf die motorischen Nerven wirken, so sehen wir, daß sich die Nerven des elektrischen Organs gleich Bewegungsnerven verhalten. Wir werden weiter unten auf diesen Punkt noch zurückkommen.

Obgleich der Zitterroche, wie andere elektrische Fische, die von ihm ertheilten elektrischen Schläge nicht empfindet, so verhält er sich doch mit seinem übrigen Körper gegen Galvanismus gleich anderen Thieren. Bringt man ihm, wie Davy that, eine Wunde bei, so reagirt er, sobald diese gereizt wird, durch Widerstand und Bewegung.

Aus Gründen, welche in der Folge noch erörtert werden sollen, hat es der Zitterroche in seiner Gewalt, sich stärker oder schwächer zu entladen. Nähert sich ihm ein fremdes Wesen, oder wird er an seiner Hautoberfläche gereizt, so ertheilt er in dem ersteren Falle, wenn er es will, in letzterem unwillkürlich seine Schläge. Diese Kraft dauert so lange das Thier lebt, seine Reizbarkeit kräftig fortbesteht und der elektrische Apparat mit den ihm gehörenden und entsprechenden nervösen Theilen unverletzt ist. Je stärker und größer ein Thier ist, um so kräftigere Schläge vermag es zu ertheilen. Nach den oben angeführten Daten hat es auch größere elektrische Organe, zahlreichere Säulen und weit größere Mengen von galvanischen Elementen oder Septis. Hierher gehört daher auch die gemachte richtige Erfahrung, daß trächtige Weibchen stärker schlagen, als die zarteren Männchen. Ob in dem Momente, wo sich die Mutter entladet, auch die im Uterus ausgebildeteren Embryonen schlagen, ist noch nicht untersucht worden. Denn, daß reifere Fötus auch schon die Fähigkeit zu elektrisiren haben, erhellt schon aus der Anwesenheit elektrischer Organe bei ihnen, und ist auch von Spallanzani, Davy und Linari direct beobachtet worden. Zu häufige oder zu rasch

auf einander folgende Entladungen schwächen die elektrischen Kräfte und diese kehren erst nach größeren oder kleineren Zwischenzeiten der Ruhe wieder. In dem Todeskampfe verliert sich die Entladungsfähigkeit nach und nach. Man sieht aus diesem Allen, daß sich die letztere durchaus der Muskelreizbarkeit parallaliasirt. Doch schwindet in der Agonie die elektrische Kraft früher als die Muskelirritabilität. Ich sah z. B. einen im Sterben begriffenen Rochen, der nur noch äußerst schwache und bald gar keine Schläge ertheilte, sich noch nach äußeren Reizen mit seinem Vordertheile heftig krümmen und seine Seitenflossen bewegen.

Die ruhige und gewöhnliche Entladung eines kräftigen Torpedo geht ohne alle weitere Bewegungen des Thieres vor sich. Strengt sich das Thier sehr an, so bewegt es die Seitenflossen, die Augen und Augenlieder oder den Schwanz. Doch sind dieses nur untergeordnete und unwesentliche Nebenmomente, ohne welche auch heftige Schläge ausgetheilt werden können. Daß der Zitterroche etwa gleich dem Zitteraale durch Krümmung seines Körpers eine Art von Zauberkreis schließe, ist bis jetzt noch nicht beobachtet worden; wie wir aber bei den Thätigkeiten der motorischen Nerven directe und Reflexbewegungen haben, so existiren auch directe und Reflexentladungen. Die ersteren treten durch Influenz des Gehirns, die letzteren nach Reizung der sensiblen Nerven ein. Nach dem oben dargestellten anatomischen Befunde verlaufen vorzüglich die Nerven der Haut und der Kiemen in der Nähe der Nerven der elektrischen Organe, wenn sie in das centrale Nervensystem eintreten. Es läßt sich daher schon theoretisch erwarten, daß Reizung der Haut und der Athmungsorgane elektrische Reflexentladungen besonders erregen werde. Dieses bestätigt auch die Erfahrung vollkommen. Wie aber auch die sensiblen Nerven der Eingeweide Reflexbewegungen zu erzeugen im Stande sind, so können sie auch Reflexentladungen hervorrufen. Wie ein Thier, welches stark läuft, seine Athmung beschleunigt, so tritt auch durch schnelle und häufige Entladungen wenigstens eine vermehrte Absorbtion von Sauerstoff und Stickstoff ein, während sich merkwürdigerweise die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure vermindern soll. Matteucci nämlich analysirte das freie Meerwasser und dasjenige, welches er in zwei Behältern hatte. In jeden dieser letzteren wurde ein Torpedo gethan. Beide weibliche Thiere waren gleich groß und gleich lebhaft. Während man dann den einen bei + 27,5° C. 45 Minuten lang reizte, ließ man den andern vollkommen ruhig. Es ergab sich

	Freies Meerwasser.	Meerwasser im Behälter: vor dem Aufenthalte der Rochen.	nach dem Aufenthalte des gereizten Rochen.	nach dem Aufenthalte des ruhigen Rochen.
C̈	11,0	17,8	30,6	37,8.
N	60,5	57,8	69,4	39,4.
O	29,5	24,4	—	2,8.

Der ruhige Roche hatte also 1,6% Stickstoff und 21,6 Sauerstoff absorbirt und 20,0 Kohlensäure ausgeschieden, der gereizte 11,6 Stickstoff und 24,4 Sauerstoff aufgenommen und 12,8 Kohlensäure gebildet. Durch die Reizung waren also 10,0 mehr Stickstoff, und 2,8 Sauerstoff mehr verschwunden, und 7,2 weniger Kohlensäure entstanden. Sollten sich diese Data vollkommen bestätigen, so könnte man, wie man sieht, den durch die elektrischen Entladungen entstehenden Einfluß keine Erhöhung der Respira-

tionsthätigkeit nennen. Sauerstoff vermehrt die Athmungsthätigkeit und die elektrische Entladung. Brachte Matteucci einen ermatteten Zitterrochen unter Sauerstoffgas, so athmete er wieder stärker und schlug von neuem. Jedenfalls ließen sich aber das vermehrte Athmen, wie die oben erwähnten accessorischen Muskelcontractionen den sogenannten Mitbewegungen parallelisiren. Die Kämpfer'sche Angabe, daß Unterbrechung der Athmung die Entladungskraft aufhebe, ist schon von Walsh widerlegt worden. Ob die Angabe von Spallanzani, die später von Davy zum Theil bestätigt wurde, daß häufige elektrische Entladungen die Verdauung schwächen, richtig sei, steht noch sehr dahin.

Obwohl die bis jetzt vorliegenden an den Zitterrochen angestellten Vivisectionen noch sehr sparsam und meist von Physikern oder wenigstens ohne die dem gegenwärtigen Standpunkte der Physiologie entsprechende Berechnung angestellt worden sind, so liegen doch Erfahrungen genug vor, um wenigstens das Grundprincip der nervösen Thätigkeit bei dem Entladungsacte daraus zu erkennen. Wie durch Abziehen der Haut die Reflexbewegungen geschwächt werden, so ist das Gleiche in Betreff der Reflexentladungen der Fall. Diese werden durch die genannte Operation nicht, wie Spallanzani glaubte, aufgehoben, sondern nach den Erfahrungen von Matteucci nur vermindert. In Betreff des Einflusses des Blutgefäßsystems sind die Erfahrungen noch sehr lückenhaft. Wir wissen nur so viel, daß Ausschneiden des Herzens die Entladungskraft nicht sogleich aufhebt, sondern sie nur nach Maaßgabe, als das Thier dem Tode nahe tritt, schwächt. Es wäre zunächst der Versuch der Unterbindung der Blutgefäße des electrischen Organs zu machen. Der Analogie mit der Muskelzusammenziehung nach läßt sich erwarten, daß die Entladungsfähigkeit auch unter diesen Verhältnissen sehr geschwächt bis aufgehoben werde. Dagegen stellt sich in Betreff der Einflüsse des Nervensystems auf die elektrischen Schläge des Fisches Alles durchaus so, daß an der Analogie mit den motorischen Nerven nicht zu zweifeln ist. Wir werden dieses am besten einsehen, wenn wir alle hierher gehörenden Gesetze der Reihe nach durchgehen.

1) Wenn in dem peripherischen Nervensysteme kein motorischer Reiz von einer Nervenfaser auf die andere überspringt, so ist das Gleiche bei den elektrischen Nerven der Fall. Es ist keineswegs zur Entladung eines elektrischen Apparates nothwendig, daß, wie frühere Beobachter aussprachen, alle Nerven des Organs unverletzt seien. Es geht nur nach Durchschneidung der einzelnen Nervenstämme so viel verloren, als dem Verbreitungsbezirke der durchschnittenen Nerven entspricht. Ohne daß Versuche der Art bisher angestellt worden wären, läßt sich nach dem eben ausgesprochenen Gesetze, für welches wir die Beweise sogleich anführen werden, erwarten, daß die Zerstörung des R. electricus N. trigemini die Wirkung der inneren Parthie des vorderen Theiles, die des R. electricus anterior N. vagi die der äußern Parthie des vordern Theils, die des R. e. medius N. vagi die des mittlern Theils und der vordern Parthie des hintern Theils, und die des R. e. postremus N. vagi die des hintersten Theils des elektrischen Organs aufheben werde. Daß aber durch die Zerschneidung eines Theils der Nerven des elektrischen Organs nur ein Theil der Wirkung des Apparats verloren gehe, ist experimentell bewiesen. Matteucci nämlich hat auf eine recht gute Weise dargethan, daß die Entladungen nur local, den entsprechenden noch thätigen Nerven correspondirend, bleiben. Legt man bei einem eben getödteten Torpedo mehre Frosch-

schenkel auf die Rückenfläche des einen elektrischen Organs auf, so springt, je nachdem man den einen oder den andern elektrischen Nerven reizt, der eine oder der andere Froschschenkel in die Höhe. Dasselbe Experiment muß gelingen, wenn man bei einem lebenden Rochen einzelne Stämme eines Organs durchschneidet und andere intact läßt. Diejenigen Schenkel, weche den Verbreitungsbezirken der gereizten oder unversehrten Nerven aufliegen, müssen natürlich aufspringen, während die anderen bei nicht zu großer Entladung und nicht zu starker Leitung ruhig bleiben.

2) Wie die entsprechenden Muskeln beider Seiten und die benachbarten Theile eines Muskels von einander isolirt und unabhängig sind, so findet das Gleiche in Betreff der beiden elektrischen Organe und der einzelnen Theile eines Organs Statt. Theilt man ein elektrisches Organ der Quere nach und bringt selbst eine Glasplatte zwischen die beiden Durchschnittsflächen, so schlagen, wenn nur die Stämme und Aeste der Nerven unversehrt geblieben, die einzelnen Theile des elektrischen Apparats fort. Eben so können sich nun ein Organ oder beide Apparate zugleich entladen.

3) Wie bei den peripherischen Primitivfasern Durchschneidung und Unterbrechung der Continuität die Leitung stört, während noch eine zeitlang die Reizbarkeit verbleibt, so ist das Gleiche mit den elektrischen Nerven der Fall. Werden die elektrischen Nerven des einen Organs durchschnitten, so kann das Thier mittelst desselben keine Schläge mehr geben. Reizt man dagegen die peripherischen Theile der getrennten Nerven; so entstehen nach Matteucci schwache Entladungen. Wir werden bei Gelegenheit der allgemeinen Theorie der Wirkung der elektrischen Organe die Gründe angeben, weßhalb unter gleichen Verhältnissen die Entladungen wahrscheinlich schwächer sind, als die Muskelzusammenziehungen. Starke Ligatur wirkt gleich der Durchschneidung, lockere hebt natürlich die Effecte nur theilweise oder gar nicht auf.

4) Wie in den motorischen Primitivfasern erfolgt die Leitung in den elektrischen Nerven nur in centrifugaler, nicht aber in centripetaler Richtung. Die Erfolge des Reizes sind aber dann auch hier die gleichen, das Irritament mag in dem peripherischen Nervensysteme angebracht werden, wo es wolle. Es ist ganz gleichgültig, an welcher Stelle ihres peripherischen Verlaufes wir die elektrischen Primitivfasern anregen. Es erfolgt immer ein centrifugaler Strom des Nerven-Fluidums und eine Entladung, welche dem Quantum elektrischen Organs, in welchem die gereizten Primitivfasern endigen, entspricht. Sind die elektrischen Nerven durchschnitten, so ruft Reizung der peripherischen Abschnitte derselben Entladung, der centralen keine hervor. Auch das schon oben angeführte Gesetz, daß ein positiver Strom, wenn die secundären entgegengesetzten Ströme nicht stark genug sind, nicht in centripetaler, wohl aber in centrifugaler Richtung einwirkt, gehört hierher.

5) Wie bei den motorischen Nerven hebt lokale chemische Zerstörung des Nerveninhalts der peripherischen elektrischen Primitivfasern den Einfluß des Willens auf die Entladung auf. Reizung der nervösen Theile oberhalb der Zerstörungsstelle hat keine Wirkung, während Irritation unterhalb derselben Schläge erzeugt. Totale chemische Veränderung des Primitivfaserinhalts hebt, wenn selbst die frühere Beschaf-

fenheit des elektrischen Organs möglichst wieder hergestellt wird, die Entladungskraft für immer auf. Solche chemische zerstörende Mittel sind Säuren, Alkalien und verschiedene Salze. Hatte Matteucci das Organ mit kochendem Wasser behandelt, und ihm später durch Seewasser seine Durchsichtigkeit wieder gegeben, so blieben doch alle Schläge aus.

6) Das Centralorgan der elektrischen Nerven sind, so weit die bisherigen sicheren Erfahrungen reichen, nur die elektrischen Lappen. Schon ihr eigenthümliches Structurverhältniß deutet darauf hin. Ob, wie wahrscheinlich ist, die elektrischen Nerven hier enden oder nicht, läßt sich erst nach künftiger Untersuchung frischer Zitterrochengehirne apodiktisch entscheiden. Reizung der Lobi electrici ruft Entladungen hervor. Alle Theile des Gehirns, so wie des Rückenmarks können entfernt werden, ohne daß die Schlagkraft zu Grunde geht. Abtragung der elektrischen Lappen dagegen wirkt gerade so, wie wenn die elektrischen Nerven an ihren Ursprüngen abgeschnitten worden wären. Wenn in den Versuchen von Matteucci auch nach Reizung der Lobi optici Schläge eintraten, so beweisen die Erfahrungen desselben Forschers, nach welchem diese Erfolge nach Entfernung der Lobi electrici ausbleiben, daß sich der Reiz nur durch das Gehirn zu den elektrischen Lappen fortleiten kann, nicht aber daß die Sehlappen einen direkten Einfluß auf die elektrischen Organe haben.

7) Die elektrischen Lappen verhalten sich zu den beiden elektrischen Organen, wie diejenigen Centraltheile des Nervensystems zu den Muskeln, welche hinter oder unter der Kreuzung der Pyramiden liegen, nicht aber wie diejenigen, welche sich vor oder über der genannten Decussation befinden. Schwache Reizung des rechten Lobus electricus entladet nur das rechte elektrische Organ, die des linken das linke. Stärkere Reizung kann beide in Thätigkeit setzen.

8) Die Reflexentladungen folgen denselben Gesetzen, wie die von dem Rückenmarke ausgehenden Reflexbewegungen. Nach Maaßgabe nicht sowohl der Quantität, als der Intensität der Hautreize entladet sich ein Organ entweder partiell oder total oder beide Organe schlagen. Abziehen der Haut, durch welche ein großer Theil der entsprechenden sensiblen Hautnerven zerstört wird, schwächt, wie wir gesehen haben, die Reflexentladung. Es unterliegt keinem Zweifel, daß, wenn man einem Zitterrochen die beiden ersten Zweige des dreigetheilten Nerven durchschnitte, Reizung des vordern Theiles der Körperhaut erfolglos bliebe, während die willkürliche Entladungskraft, so weit diese bei dem Zitterrochen etwa besteht, vor wie nach ungehindert bliebe. Durchschneidung der elektrischen Nerven oder Zerstörung der elektrischen Lappen oder des ganzen Gehirns hebt die direkten, wie die Reflexentladungen auf. Bleibt nur noch ein kleiner Theil der elektrischen Lappen zurück, so ist, wie Todd erfuhr, noch einige Entladung möglich.

9) Im Momente der Entladung nimmt der Fisch aus Gründen, die wir in der Folge kennen lernen werden, an Umfang nicht zu. Dieses würde mit denjenigen über die Muskelzusammenziehung angestellten Versuchen stimmen, welche das Resultat lieferten, daß im Momente der Contraction keine Volumensveränderung eintrete. Matteucci legte einen Zitterrochen in einen Behälter, an welchem eine graduirte Glas-

röhre angebracht war. In beiden befand sich Wasser. Das Niveau der in der Glasröhre enthaltenen Flüssigkeit änderte sich im Momente der Entladung nicht. Aehnlich fielen auch bekanntlich Versuche über die Muskelzusammenziehung aus, während andere, die vielleicht minder richtig sind, das entgegengesetzte Resultat ergaben. Uebrigens ist gerade diese Aehnlichkeit von sehr untergeordneter Bedeutung und selbst, wenn sie existirt, nicht sehr hervorzuheben.

10) Die meisten Agentien, welche auf die Muskelreizbarkeit nachtheilig wirken, haben denselben Einfluß auf die Thätigkeit der elektrischen Organe. Nach Matteucci vermindert kaltes Wasser die Entladungskraft des Thieres. Bei + 5° C. hört es zu schlagen auf und stirbt bald ab. Wird dagegen der Roche in Wasser von + 22,5° C. zurückgebracht, so erholt er sich, selbst wenn er früher asphyktisch war, wieder und ertheilt von neuem sehr starke Schläge. Bis 37,5° C. kann die Wärme erhöht werden, ohne den elektrischen Fähigkeiten des Thieres Schaden zu stiften.

11) Narkotische Gifte, welche durch ihre Effecte auf das centrale Nervensystem eigenthümliche Erscheinungen der Muskel-Contraction hervorrufen, wie Opium, Morphin, Strychnin, haben ähnliche Effecte auf die elektrischen Organe. Hat man einen Frosch durch Morphin vergiftet, so stellen sich während der Agonie bei den geringsten äußeren Reizen, oder selbst ohne diese, Muskelcontractionen ein. Hatte Matteucci einem Zitterrochen Morphin beigebracht, so schlug das Thier von selbst ungefähr 6 mal in der Minute. Tödtet man einen Frosch durch Strychnin, so stellen sich vor dem Tode von selbst von Zeit zu Zeit starke tetanische Krämpfe ein. In diesem Zustande werden auch die letzteren durch äußere Hautreize hervorgerufen. Nach Strychninvergiftung des Torpedo sah Matteucci starke Convulsionen und einige sehr starke Entladungen eintreten. Die letzteren wurden immer schwächer, erfolgten aber in immer kleineren Zwischenräumen und hörten endlich ganz auf, wie das Gleiche in Betreff der durch Strychnin erregten tetanischen Krämpfe der Fall ist. Endlich starb der Roche unter Convulsionen.

12) Bei einem und demselben Zitterrochen halten unter sonst gleichen Verhältnissen die Kräfte der Muskelzusammenziehung länger als die elektrischen Entladungen an. Wir haben schon oben gesehen, daß im Tode die Muskelirritabilität später als die Entladungskraft schwindet. Dasselbe bekräftigen die eben angeführten, über die Strychninvergiftung gemachten Erfahrungen.

b. Brasilianische Zitterrochen. Narcine brasiliensis, Henle. Die elektrischen Organe dieses Thieres sind durchaus nach demselben Plane gebaut, wie bei dem europäischen. Allein in der Ausdehnung und der entsprechenden Nervenvertheilung findet, wie die Untersuchung eines 5″ 3‴ langen Exemplars zeigte, ein Unterschied Statt. Während beim Torpedo der Vordertheil des Körpers quer abgeschnitten ist und die elektrischen Organe bis an den Vorderrand reichen, verlängert sich bei Narcine der vorderste, vor den Augen liegende Theil des Körpers mehr nach vorn und endet zulaufend abgerundet. Der Vorderrand des Thieres bildet daher eine mehr nach vorn convexe bogenförmige Linie. Man sieht hieraus, daß Narcine in dieser Beziehung gewissermaaßen eine Mittelbildung zwischen Torpedo und den gewöhnlichen Rochen darstellt. Wie bei diesen ist dieser vorderste Schnauzentheil mit einem aus vielen, einander durchkreuzenden Faserbündeln bestehen-

den Sehnengewebe, welches nicht zum elektrischen Organe gehört, ausgefüllt. Dieses beginnt jederseits in der Gegend der Augen und zeigt schon auf den ersten Blick, daß im Verhältniß zu Torpedo sein vorderster Theil weniger stark ausgebildet ist. Das Organ wird hier nicht, wie bei den europäischen Zitterrochen, vorn beträchtlich breiter. Seine größte Breite fällt vielmehr weiter nach hinten. Die Richtigkeit dieser Angaben wird noch dadurch bewiesen, daß, während die drei Rami electrici N. vagi die gewöhnliche Stärke haben, der R. electricus N trigemini einen dünnen Zweig bildet, der mit dem R. e. N. trigemini des Torpedo keinen Vergleich aushält. Berücksichtigen wir nun die Nervenverbreitung in dem europäischen Zitterrochen, so können wir annehmen, daß es vorzüglich die innere Parthie des vorderen Theiles des elektrischen Organs ist, welche sich bei Narcine im reducirten Zustande vorfindet. Da nun überdies die elektrischen Apparate des letztern Thiers niedriger erscheinen, so läßt sich nach diesen anatomischen Daten annehmen, daß die Entladungen der Narcine verhältnißmäßig schwächer seien, als die des Torpedo. Genauere vergleichende Untersuchungen sind bis jetzt noch nicht angestellt worden. Alex. von Humboldt bemerkte im brasilianischen Zitterrochen dieselben Eigenschaften, wie in dem europäischen. Auch Todd, der mit einem am Cap der guten Hoffnung vorkommenden Zitterrochen experimentirte, giebt nichts Näheres in dieser Beziehung an.

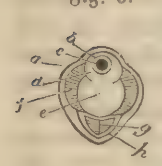
B. Der Zitteraal (Gymnotus electricus). Die Kraft der Elektricitätsentladung kommt nur dieser einen Species von Gymnotus zu, während sie alle übrigen bis jetzt bekannten Arten dieser Gattung nicht haben. Es läßt sich nun schon theoretisch erwarten, daß die bei dem elektrischen Zitteraale vorhandenen elektrischen Organe bei den anderen Gymnotusarten fehlen werden. Allein nicht nur dieses ist der Fall, sondern es scheinen auch, wie Alex. von Humboldt zuerst gefunden hat, in Betreff der Schwimmblase wesentliche Differenzen einzutreten. Während nämlich Gymnotus aequilabiatus eine kleine Schwimmblase hat, erstreckt sich die hintere, einfacher membranöse Abtheilung derselben bei Gymnotus electricus längs des Schwanzes sehr weit nach hinten, verläuft hierbei zwischen den beiden oberen oder seitlichen elektrischen Organen und hört eine Strecke vor der Schwanzspitze auf. Daß andere nicht elektrische Gymnoti etwas Aehnliches darböten, weiß man nicht, da man ihre Anatomie bis jetzt so gut wie gar nicht kennt.

Die elektrischen Organe des Zitteraales liegen in dem Schwanztheile des Thieres. Der After befindet sich nämlich hier sehr weit nach vorn. Hinter ihm beginnt der äußerst lange Schwanz, der bei einem ziemlich großen Gymnotus ungefähr 4½ Mal und etwas länger ist, als die Längen des Kopfes und des Rumpfes zusammengenommen ausmachen. Da nun der elektrische Apparat jederseits und unten fast längs dieses ganzen Schwanztheils verläuft, also, abgesehen von seiner Breite und seiner unten stattfindenden unvollständigen Duplicität, diese Schwanzlänge mindestens drei Mal summirt, so sieht man hieraus, wie sehr in diesem Thiere die übrige Organisation gegen den zur Elektricitätsentladung bestimmten Apparat zurücktritt, und der ohnedies so groß werdende Fisch geeignet gemacht wird, so äußerst starke elektrische Schläge zu ertheilen. Nur das Rückenmark, die Wirbelsäule, die dazu gehörende Muskulatur und die untere und hintere Schwanzflosse mit ihren Muskeln, die Haut und zum Theil die Schwimmblase mit den, allen

diesen Theilen entsprechenden Gefäßen und Nerven erstrecken sich so weit nach hinten, während alle übrigen Gebilde des Zitteraales in dem Kopfe und dem Rumpfe enthalten sind.

Der gesammte elektrische Apparat des Gymnotus zerfällt in zwei isolirt paarige und ein verschmolzen paariges Organ. Da jedes der beiden ersten an der Seitenfläche des Schwanzes und mehr nach oben gegen die Rückenfläche hinliegt, so nennt man es auch das seitliche oder obere elektrische Organ, während das verschmolzen paarige wegen seiner Anfügung an die Unterfläche als das untere elektrische Organ aufgeführt wird. Die Ausdehnung von allen dreien entspricht fast ganz exact der Ausdehnung der Schwanzflosse. Zwischen dieser und den elektrischen Organen, wenigstens den oberen, findet aber eine Art von Gegensatz Statt. Während die Schwanzflosse vorn am niedrigsten ist und nach hinten an Höhe zunimmt, sind die seitlichen elektrischen Organe vorn am höchsten, und verschmälern sich endlich nach hinten so sehr, daß sie ganz hinten an dem Ende der Wirbelsäule in einen abgerundeten Spitzentheil auslaufen. Jedes der seitlichen elektrischen Organe wird zunächst nach außen von einer sehnigten Haut bedeckt, liegt aber dann mit seiner fast ganzen seitlichen Oberfläche unmittelbar unter der Haut, und scheint sogar bei dem lebenden Thiere durch diese hindurch. Oben stößt es an die Rückenmuskeln, unten an die Muskulatur der Schwanzflosse. Seine Innenfläche ruht auf der benachbarten Parthie des Ventraltheils des Seitenmuskels. Vorn beginnt es abgerundet, doch so daß seine einzelnen Säulen an einzelnen Stellen bisweilen etwas vorstehen. Hinten läuft es, wie schon erwähnt, spitz zu und wird selbst bei großen Zitteraalen verhältnißmäßig klein und fein. Das untere elektrische Organ liegt unter der Unterfläche der Wirbelmusculatur des Schwanzes, über und zwischen der Musculatur der Schwanzflosse versteckt, hat auch seine aponeurotische Hülle und erscheint, besonders bei größeren Thieren und vorzüglich nach vorn mehr oder minder verschmolzen paarig.

Fig. 9.



Die Fig. 9. gezeichnete Idealfigur eines senkrechten Querdurchschnittes des Schwanzes giebt einen ungefähren Begriff der Lagerungsverhältnisse der elektrischen Organe. *a* ist die äußere Haut, *b* die Wirbelsäule, *c* das Rückenmark, *d* die obere, *e* die untere Seitenmusculatur mit der eingeschlossenen Schwimmblase, *f* das obere oder seitliche elektrische Organ, *g* das unpaare elektrische Organ, *h* die Musculatur der Schwanzflosse. Noch besser erhellen diese Verhältnisse aus dem natürlichen senkrechten Querdurchschnitte, wie dieser von John Hunter und Alex. von Humboldt gezeichnet worden ist. Im Ganzen genommen erscheint jedes der seitlichen Organe zusammengedrückt und hat so eine äußere, etwas convexe und eine innere Fläche, welche gewissermaßen durch die Eintrittsstellen der Nerven in eine obere und eine untere Hälfte gesondert wird. Außerdem besitzt es noch einen vordern, einen obern und einen untern Rand und eine hintere abgerundete Spitzenparthie. Das untere elektrische Organ gleicht im Ganzen einem dreiseitigen Prisma, dessen eine Kante nach unten, dessen Basis nach oben sieht. Vorn beginnt es spitz, vergrößert sich nach hinten und scheint endlich mit den seitlichen elektrischen Organen inniger zu verschmelzen.

Hat man die äußere Haut und die aponeurotische Hülle entfernt, so zeigt jedes seitliche Organ eine Reihe von oben nach unten auf einander folgender ungefähr horizontaler Bänder, wie sie Fig 10. nach dem vordersten

Fig. 10.

Theile des linken obern Organs eines kleinern Zitteraals dargestellt worden sind. Die die horizontalen Grenzlinien erzeugenden Theile entsprechen denjenigen Gebilden, welche wir bei den Organen des Torpedo mit dem Namen der aponeurotischen Scheidewände belegt haben. Bei größeren Zitteraalen erkennt man nun schon mit freiem Auge, daß eine sehr große Anzahl feiner, dicht bei einander liegender Septa auf diesen Scheidewänden senkrecht stehen und successiv von vorn nach hinten auf einander folgen (*b*). Bei den Organen kleinerer Gymnoti gewährt die Untersuchung unter der Lupe oder dem Mikroskope dieselbe Anschauung. Macht man einen horizontalen Querschnitt durch ein solches Organ, so sieht man, daß sich solche aponeurotische Scheidewände durch die ganze Breite (oder Höhe) des Organs fortsetzen, wie Fig. 11, in welcher *a* die äußere, *b* die innere Fläche und *c* den obern Rand bezeichnet, andeutet. Macht man endlich einen longitudinalen senkrechten Schnitt, so bemerkt man auch hier horizontale aponeurotische Scheidewände, wie bei der äußern Flächenansicht. Da sich jede Scheidewand der Länge des Organs nach fortsetzt und immer die Septa auf ihr senkrecht stehen, so ergiebt sich hieraus folgende Anordnung dieses elektrischen Apparates. Wir haben sehr lange oder, wenn wir sie uns senkrecht gestellt denken, sehr hohe Columnen, welche, der Länge des Schwanzes nach horizontal, sowohl von oben nach unten, als von innen nach außen aufgeschichtet sind. In jeder von diesen liegen wieder, ganz ähnlich wie bei dem Zitterrochen, Septa, analog den Plattenpaaren einer galvanischen Säule. Dadurch nur, daß die Säulen hier in Verhältniß zu dem ganzen Thiere horizontal sind, kommen die Septa senkrecht zu stehen, eine Differenz, die, wie man leicht sieht, für die galvanische Thätigkeit der Säulen selbst ohne Bedeutung ist. War aber die Berechnung der Zahl der Septa bei dem Zitterrochen nur approximativ und mehr schätzend, so muß sie bei den seitlichen elektrischen Organen des Zitteraals noch unsicherer ausfallen, da die Form derselben an verschiedenen Stellen verschieden ist. Am meisten approximativ dürfte vielleicht noch folgende Schätzungsweise ausfallen. Bei einem ungefähr 38,5″ neuen Decimalmaaßes langen Zitteraale betrug die ungefähre Länge eines seitlichen elektrischen Organs 32″. In der Hälfte dieser Länge existirten an der äußern Fläche ungefähr 30 Säulen, und in der Mitte der Höhe ungefähr 13 Säulen über einander, während natürlich nach oben, wo das Organ schmäler wird, die Zahl der Säulen sich verringert, nach unten sich etwas vermehrt. Da es jedoch unmöglich ist, mit Sicherheit die Zahlen der Säulen von vorn nach hinten, von oben nach unten und von innen nach außen zu bestimmen, so wollen wir die obigen Mittelzahlen zum Grunde legen. Es würden also dann in dem seitlichen Organe ungefähr 390 Säulen existiren. Nun ergaben mikrometrische Messungen im Mittel mindestens 16 Septa auf eine Linie. Eine Säule von 32″ Länge würde daher mindestens 5120 Septa enthalten. Auf ein seitliches elektrisches Organ kämen daher 1996800 und auf beide 3993600 Septa. Die Schätzung der Zahl derselben in dem unpaaren elektrischen Organe unterliegt noch größeren Schwierigkeiten. Hier sind die Septa breiter, laufen der Quere nach, werden daher verhältnißmäßig größer und erscheinen besonders vorn durch eine aponeurotische Scheidewand getrennt. Da

Fig. 11.

nun hier im Mittel 25 auf eine Linie Länge kommen, so würden auf diesen Theil des elektrischen Apparats, wenn man nur zwei seitliche und, wie es im Mittel schien, 10 über einander befindliche Columnen annimmt, mindestens 160000 Septa kommen. Die Schätzung fällt im Ganzen gewiß eher zu klein als zu groß aus, wenn wir nach diesen Daten annehmen, daß ein ausgewachsener Zitteraal in seinen elektrischen Organen zwischen 4 — 5 Millionen Septa besitze.

Trotz der äußeren Verschiedenheiten läßt sich der innere Bau des elektrischen Apparates des Zitteraals sehr gut dem des Zitterrochens parallelisiren. Allerdings gehen die aponeurotischen Scheidewände hier horizontal, während sie bei Torpedo senkrecht sind; die Septa stehen hier aufrecht, während sie dort liegen. Allein die Elemente sind durchaus die analogen. Die Scheidewände sind sehnigte Aponeurosen, welche die einzelnen Columnen sondern und ihnen Blutgefäße und Nerven zuführen. In jedem Septum haben wir wieder eine Grundmembran, die verdünnte Fortsetzung der aponeurotischen Scheidewand mit der zu beiden Seiten befindlichen Epitheliumlage. Vorzüglich nach Behandlung mit verdünntem kaustischen Kali sieht man wieder die in verschiedenen Höhen befindlichen Blutgefäße und Nervennetze, von denen die letzteren wieder sehr an die Endplexus der Nerven in den Muskeln erinnern. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Septis fallen aber hier durchgängig größer aus. Die Differenz ist nicht so groß, daß ich mit Rudolphi die elektrischen Organe des Zitterrochens mit aufgebauten galvanischen Säulen, die des Zitteraals mit Trogapparaten vergleichen könnte. Torpedo hat vielmehr offenbar nur stehende, Gymnotus liegende Batterieen ähnlicher Art.

Sehr wesentlich unterscheidet sich aber der elektrische Apparat des Zitteraals von dem des Zitterrochens durch die in ihn eintretenden Blutgefäße und Nerven. Beobachtet man die Innenfläche des obern elektrischen Organs des Gymnotus, so sieht man eine Reihe successiver, von oben nach unten gehender Streifen, welche im Ganzen den Wirbelabtheilungen des Seitenmuskels ungefähr correspondiren. Ihnen entsprechend laufen auch successiv die aus der Aorta entstehenden Arterien und die zur Hauptvene des Schwanzes zurückkehrenden Blutadern. Die Nerven folgen auf dieselbe Art successiv auf einander. Sie sind sämmtlich Rückenmarksnerven. Kein Hirnnerve scheint selbst accessorische Fäden an den elektrischen Apparat zu ertheilen. Weder der oberflächliche, noch der nahe verlaufende starke und lange tiefe Seitennerve erzeugt Zweige für das Organ.

Hat man die obere Hälfte des seitlichen elektrischen Organs zurückgeschlagen, so sieht man diese successiv eintretenden Nerven. Ihre Zahl ist außerordentlich groß. Rudolphi zählte bei seinem Exemplare 224 Nervenstämme jederseits. Nach meinen Beobachtungen besitzen größere Zitteraale zwischen 220 — 230, kleine circa 200 Nerven auf jeder Seite. Diese großen Zahlen verlieren aber ihr Staunenswerthes, wenn man bedenkt, daß, wenn nur der Schwanztheil des Seitenmuskels existirte, sich eben so viele successive Rückenmarksnerven in ihn hineinbegeben müßten. Jeder dieser Stämme tritt an und aus dem Seitenmuskel hervor und strahlt, schon in Bündel gesondert, in das obere elektrische Organ ein, während ein Zweig ganz oder mehr oberflächlich an der Innenfläche des Organs emporläuft. Bei diesen Stämmen tritt nun ein ähnliches Verhältniß, wie bei gemischten Nerven, welche sich in Muskeln begeben, ein, d. h. eine große Zahl von Primitivfasern bleibt in dem elektrischen Organe, während andere zur Haut

dringen. Auch das unpaare elektrische Organ erhält ähnliche successive Nervenzweige, von denen die durchtretenden außer der Haut noch die Schwanzmuskulatur versorgen. Die Vertheilung aller dieser Zweige in dem Organe erfolgt auf eine hier nicht zu schildernde reguläre Weise.

Da sich, wie wir bei dem Zitterrochen erwiesen haben, die elektrische Function der Muskelzusammenziehung parallel stellt, so läßt sich erwarten, daß bei denjenigen Rückenmarksnerven, welche Zweige in den elektrischen Apparat geben, die vorderen (unteren) Wurzeln stärker, als die hinteren (oberen) sein werden. Während ich bei früheren Untersuchungen in dieser Beziehung zu keinem sichern Resultate kam, glaube ich mich in neuester Zeit an geeigneten Rückenmarkstücken, so weit dieses an Weingeisterexemplaren möglich ist, überzeugt zu haben, daß allerdings die vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven in der Gegend des vorderen Theils der Elektricitätsapparate die hinteren an Umfang übertreffen. Doch dürfte diese Angabe erst dann mit vollkommener Sicherheit angenommen werden können, wenn an frischen Gymnoten gemachte Untersuchungen vorliegen werden.

In Betreff des Centralorgans des elektrischen Apparats könnten hier zwei Fälle eintreten. Es befände sich nämlich entweder im Rückenmarke, so daß sich dieses durch eine besondere Struktur auszeichnete, oder die centralen Primitivfasern der elektrischen Nerven verliefen durch das Rückenmark bis zum Gehirn, und fänden hier erst ihren centralen Apparat, ihren elektrischen Lappen. Die letztere Annahme erhält schon dadurch mehr Wahrscheinlichkeit, daß auch die motorischen Muskelnerven, welche in das Rückenmark eintreten, allgemein nicht in diesem bleiben, sondern zum Gehirn verlaufen, um hier zu enden. Diese Schlußfolgerung wird durch die Erfahrung auf das Schönste bestätigt. Das Rückenmark des Gymnotus zeigt nirgends gangliöse äußerlich sichtbare Anschwellungen, unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Rückenmarke jedes andern Aales, und ist vielleicht, wenn man die Größe des Zitteraales in Anschlag bringt, selbst nicht einmal bedeutend stark zu nennen. Ganz andere Verhältnisse treten dagegen in dem Gehirne ein. Hier stoßen wir auf eine eigenthümliche paarig verschmolzene, auch durch ihre verhältnißmäßige Größe sich auszeichnende Lappenbildung, welche wir als Lobus electricus ansprechen müssen, obgleich bis jetzt noch keine physiologischen Versuche vorliegen, um diese anatomische Deduction auch functionell zu bekräftigen. Das Gehirn nämlich besteht, wie die Fig. 12 gelieferte Ansicht der rechten Seite desselben zeigt, aus den Hemisphärenlappen *a*, den Sehlappen *b*, den vorderen *c* und den hinteren unteren Lappen *d*, dem Hirnanhange *d'*, dem theilweisen Analogon des kleinen Gehirns *e*, dem verlängerten Marke *f*, und dem verhältnißmäßig sehr großen elektrischen Lappen *g*, der, wie ich in meiner Abhandlung über den Gymnotus durch Vergleichung mit den Gehirnen anderer Fische dargestellt habe. Durch größere Entwickelung des vordern Theils des hinter den Sehlappen befindlichen Theils des Mesencephalon entstanden ist, während die in Fig. 12 mit *e* und *i* bezeichneten Theile dem hintern Theile des Mittelgehirns entsprechen. Der Lobus electricus bildet hier einen langen und großen, sich weit nach vorn erstreckenden Lappen, der das übrige Mesencephalon, die Sehlappen und selbst den hintersten Theil der Hemisphärenlappen überdacht und überragt, hierdurch fast an die starke Entwickelung des Cerebellum bei Thynnus vulgaris erinnert und an seiner oberen Fläche durch eine longi-

Fig. 12.

tudinale Mittelfurche in zwei seitliche Hälften gesondert wird. Unter dem Mikroskope zeigte er bei zwei untersuchten Gehirnen, von denen wenigstens das eine sehr gut erhalten war, keine Spur von den großen gesonderten Nervenkörpern, wie wir sie aus den elektrischen Lappen des Zitterrochens angeführt haben. Es könnte nun auf den ersten Blick scheinen, als zeugte dieses gegen seine Bedeutung als elektrischer Lappen. Dieses ist jedoch keineswegs der Fall. Offenbar entspricht den Lobis electricis der Torpedines oder den Lobis ventriculi quarti anderer Fische der Keule der Rautengrube des Menschen und der anderen Thiere, vorzüglich die Umgebung der sogenannten grauen oder runden Erhabenheit. Hier finden wir auch bei den höheren Geschöpfen und selbst bei dem Menschen einzelne centrale Nervenkörper, welche durch ihre Größe und Dichtigkeit an die Ganglienkugeln des peripherischen Nervensystems erinnern. Benutzt nun die Natur diese Gegend, um sie zum Centralorgan des Elektricitätapparates zu machen, so vergrößert sie diese ausgezeichneten centralen Nervenkörper quantitativ und qualitiv. Es ist jedoch nicht zu läugnen, daß hier noch ein eigenthümliches Verhalten stattfindet, da die Lobi ventriculi quarti der Chimaera monstrosa, welche ebenfalls sehr groß sind, nicht zu ihrem größten Theile aus jenen colossalen Nervenkörpern bestehen. Das Mesencephalon der übrigen aalartigen Fische hat aber überhaupt keine so großen Ganglienkugeln. Wenn daher auch die Natur einen Theil desselben den hinzukommenden peripherischen elektrischen Organen entsprechend vergrößert und zu dem elektrischen Lappen umwandelt, so geht sie doch durch dieses Specialverhältniß von ihrem allgemeineren Typus nicht ab und schafft keine so isolirten Nervenkörper in dem Lobus electricus.

Die elektrischen Schläge des Gymnotus sind bei weitem stärker, als die des Zitterrochen und vermögen, wenn sie sich rasch hintereinander wiederholen, sogar Pferde zu betäuben. Nach der blühenden und berühmten Schilderung Alex. von Humboldt's benutzt man diesen Umstand auch, um dieser Thiere ohne Schaden habhaft werden zu können. Die Pferde werden in das Wasser, in welchem sich die Zitteraale in zahlreicher Menge vorfinden, hineingetrieben. Die Gymnoti, hierdurch aufgeregt, entladen sich so häufig und so rasch hinter einander, daß ihre Schlagkraft bald erschöpft wird, und daß sie dann ohne Gefahr von Menschenhänden eingefangen werden können. Nach einiger Zeit tritt ihre frühere Entladungskraft wieder ein. Um zu schlagen, hat das Thier nicht nöthig, irgend eine Körperbewegung zu machen. Nicht an seinen etwa veränderten Stellungen oder Bewegungen, sondern an den Folgen der Schläge, wenn diese einen Menschen oder ein anderes thierisches Wesen getroffen, merkt man, daß eine Entladung vor sich gegangen. Nur wenn der Gymnotus sich anschickt, einen anderen Fisch zu tödten, bereitet er sich durch Bewegungen vor. Er krümmt seinen Körper bogenförmig und bildet da einen unvollständig geschlossenen Kreis, innerhalb welchen das ausersehene Opfer sich befindet. Ohne neue Bewegung entladet er sich nun, und sogleich, wie vom Blitze getroffen, wendet der getroffene Fisch den Bauch nach oben und ist dahin. Deutlich hat es der Zitteraal in seiner Gewalt, entweder nur einen Theil oder den ganzen elektrischen Apparat zu entladen. Ob er, wie allgemein behauptet wird, auch die Fähigkeit hat, seine Schläge nach einer bestimmten Richtung hin zu entsenden, oder ob dieses nur durch seine vorher eingenommene Stellung und combinirte partielle oder totale Entladungen geschehe, scheint mir noch durch künftige Beobachtungen genauer festgestellt werden zu müssen. Dagegen giebt der Fisch entschieden nicht auf jeden Hautreiz elektrische Schläge. Hielten ihn Alex.

v. Humboldt bei dem Kopfe, Bonpland am Schwanze, oder umgekehrt, so wurde bisweilen der Eine, nicht aber der Andere, vielleicht eben durch partielle Entladung elektrisirt. Hierher gehört auch, daß der Fisch gewissermaßen fühlt, wo er seine Schläge anzubringen habe oder nicht. Ist er sehr gereizt, so schlägt er fast bei jeder Berührung. Ist dieses aber nicht der Fall, so entladet er sich nicht, sobald der Contact durch Metall geschieht, während Berührung mit dem Finger Entladung hervorruft. Wie bei den Zitterrochen, so giebt es auch hier directe und Reflexentladungen. Die letzteren entstehen besonders nach Hautreizen, vorzüglich der Bauchseite, der Flossen, der Kiemendeckel. Auch in diesen Fällen kann, wie die Erfahrungen von Alex. von Humboldt und Bonpland lehren, von den beiden Personen, welche den Zitteraal berühren, z. B. derjenige, welcher den Schwanz hält, den Schlag empfangen, während der, welcher die Hautstellen kitzelt, nichts verspürt. Selbst wenn man den Fisch mit zwei metallischen Körpern, die nur sechs Linien von einander entfernt sind, berührt, so hat er noch das Vermögen, den Schlag nur durch den Einen hindurch zu ertheilen. Im Allgemeinen fallen die Schläge um so stärker aus, je weiter die beiden Berührungspunkte von einander entfernt sind, also wenn die eine Hand den Kopf, die andere das Schwanzende faßt. Erfolgt der unmittelbare Contact mittelst metallischer Conductoren, die andererseits mittelst der trockenen Hände gehalten werden, so erhält man keinen Schlag, während eine zweite Person, welche ihre Hände in dem den Gymnotus umgebenden Wasser hält, nach Faraday, elektrisirt wird. Die menschliche Haut wirkt also hier als Isolator, wie wir dieses noch in der Folge bei Gelegenheit der contactelektrischen Verhältnisse werden bestätigen können. Bei befeuchteten Händen fühlt man auch die Entladungen bei mittelbarer Berührung durch metallische Leiter. Bei Eintauchen von Körpertheilen in das den Zitteraal umgebende Wasser wird, nach Faraday, die Entladung nur in den untergetauchten Theilen percipirt. Der Schlag ist bei unmittelbarer Application der Hände an den Fisch am stärksten und wird um so schwächer, je weiter sie von demselben entfernt gehalten werden. Nach den übereinstimmenden Beobachtungen von Faraday und Schönbein ist im Momente der Entladung der Kopf positiv, der Schwanz negativ. Jeder Theil des Fisches erscheint im Allgemeinen in Verhältniß zu einem vor ihm liegenden Theile negativ, und in Hinsicht auf den hinter ihm liegenden Theil positiv. Es geht also während der Entladung ein positiver Strom centrifugal von dem Kopfe nach dem Schwanze. Dieses stimmt in zwiefacher Beziehung sehr schön: 1) Bei dem Zitterrochen, wo die Säulen senkrecht stehen, und die Septa horizontal liegen, geht die positive Strömung von der Rücken- zur Bauchfläche. Bei dem Zitteraale, wo die Säulen der oberen Organe horizontal liegen und die Platten senkrecht stehen, findet sie von dem Kopfe nach dem Schwanze Statt. Die Säulen des Gymnotus gleichen also nach vorn umgelegten Säulen des Torpedo, bei welchen die Rückenfläche zur Vorderfläche geworden. 2) Wir wissen, daß bei der, durch einen elektrischen Strom erregten magnetischen Strömung die Ebene der letztern die des ersteren senkrecht schneidet. Da nun die Endplexus der Nerven des elektrischen Organs den Septis parallel liegen, so laufen auch die bei dem Zitterrochen horizontal, bei dem Zitteraal senkrecht. Nun geht der positive Strom bei dem erstern von oben nach unten, der negative von unten nach oben, während bei dem letztern die positive Strömung von vorn nach hinten, die negative von hinten nach vorn geht. Hieraus folgt, daß bei beiden elektrischen Fischen die elektrische Strömung auf der Strömung

des Nervenfluidums senkrecht steht, und daß sich die erstere in dieser Beziehung zur letzteren, wie die erregte magnetische zu der erregenden elektrischen Strömung verhält.

Auch die elektrischen Schläge des Gymnotus haben die Eigenschaften der gewöhnlichen Elektricität. 1) Die durch sie wahrgenommene Empfindung ist die ähnliche. 2) Schon Walsh, Pringle, Magellan, Jugenhouß in älterer, und Faraday und Schönbein in neuester Zeit sahen im Momente der Entladung Funkenbildung. 3) Eben so wirken nach Faraday und Schönbein die Schläge auf das Elektrometer, und 4) lenken die Nadel eines Galvanometers bedeutend ab. Eine in dem inducirten Entladungsstrome befindliche Stahlnadel wird magnetisch. 5) Die Entladungen werden, wie schon erwähnt, durch Conductoren fortgepflanzt, durch Isolatoren isolirt. 6) Die von Faraday mit dem Elektrothermometer angestellten Versuche fielen negativ aus. Dagegen wollte Gassiot eine Temperaturerhöhung von 1° — 2° wahrgenommen haben. 7) Die Zersetzung des Jodkaliums gelingt leicht. Hierbei nahmen Schönbein und Watkins, wie schon angeführt wurde, bisweilen einen Funken wahr, während gewöhnliche elektrochemische Zersetzungen von keiner Funkenbildung begleitet sind.

Eigentlich physiologische Versuche sind bis jetzt an dem Zitteraale fast gar nicht angestellt worden. Nach der Enthauptung des Thieres sah Alex. von Humboldt, obwohl sich an dem Kopfe der Mund von selbst öffnete und schloß, doch durch galvanischen Reiz keine Zuckungen in den Muskeln des Kopfes, des Rumpfes und des Schwanzes entstehen, während das Herz auf den Galvanismus reagirte. Der genannte Forscher fand dasselbe auch bei dem brasilianischen Zitterrochen, nicht aber bei dortigen, nicht elektrischen Thieren. Da sich jedoch europäische Zitterrochen gegen den galvanischen Reiz empfindlich zeigen, so steht es noch dahin, ob nicht hier Zufälligkeiten obwalteten.

C. Der Zitterwels (Malapterurus s. Silurus electricus). Dieser Zitterfisch ist schon bei weitem weniger gekannt, als der Zitterrochen und der Zitteraal. Physiologische und physikalische Versuche sind noch gar nicht an ihm angestellt worden, und selbst die anatomischen Beobachtungen, welche Geoffroy St. Hilaire, Vater und Sohn, Rudolphi, Joh. Müller und Valenciennes geliefert haben, reichen nur hin, einen ungefähren Begriff von seinen elektrischen Organen zu geben, während die Verhältnisse seiner Nerven nur wenig, die seines centralen Nervensystemes gar nicht gekannt sind. Unmittelbar unter der äußern Haut und ihr fast anhaftend, erstrecken sich von der Stirn und den Kiemen bis zur Afterflosse die beiden durch eine Aponeurose getrennten elektrischen Apparate. Das äußere liegt unter dem Corium, das innere über der Muskelschicht. Jenes besteht aus kleinen rautenförmigen, unter der Lupe sichtbaren Zellen. Dieses scheint ebenfalls zellig und flockig zu sein. Jenes erhält seine Nerven vom N. vagus, der unter der Aponeurosis intermedia einhergeht, und diese mit seinen Zweigen durchbohrt. Das innere empfängt sehr feine Reiser von den Intercostalnerven. Da ich keine Gelegenheit hatte, einen Zitterwels selbst zu untersuchen, so habe ich die Beschreibung nach Rudolphi, Joh. Müller und Valenciennes entworfen. Nach Forskal sollen sich seine elektrischen Wirkungen auf den Schwanz beschränken.

D. Tetrodon electricus. Seine ganze Anwartschaft, unter die elektrischen Fische gestellt zu werden, beruht auf der Mittheilung von Paterson. Dieser Forscher nämlich erhielt mit seinen Begleitern, als sie unter 12° 13′ südlicher Breite den 7″ langen Fisch fingen, verhältnißmäßig heftige elektrische Schläge. Diese Nachricht datirt sich vom Jahre 1786.

E. Trichiurus electricus. Auch über diesen existirt nur die vom Jahre 1682 herrührende Mittheilung von Nieuwhoff. Es sollen Menschen, welche ihn tödten oder ausweiden, von einer kurzen Erstarrung befallen werden. Seine Rolle als Zitterfisch ist noch sehr zweifelhaft. Nach Rudolphi steht es noch dahin, ob er von Trichiurus lepturus verschieden sei.

Sind nun aber die elektrischen Arten Tetrodon und Trichiurus noch sehr dubiös oder mindestens sehr unbekannt, so ist, meiner Ueberzeugung nach, Rhinobatus electricus aus dem Verzeichnisse der elektrischen Thiere gänzlich zu streichen. Schon Rudolphi konnte bei dem Exemplare der Bloch'schen Sammlung keine elektrischen Organe auffinden. Mir gelang dieses bei einem andren Exemplare eben so wenig. Der vordere spitze Schnauzentheil enthält zwar ein lockeres, aus einander durchkreuzenden Sehnenfasern bestehendes Gewebe. Es ist aber dasselbe, was auch bei den übrigen gewöhnlichen Rochen vorkommt. Das Gehirn schien auch ganz rochenähnlich zu sein. Die Nachricht von Marcgrav, nach welcher ihm elektrische Eigenschaften zugeschrieben werden, bezieht sich vielleicht auf Narcine.

Es liegt zwar nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen kein bestimmter Grund vor, weshalb diejenigen Geschöpfe, welche elektrische Organe besitzen, nur Fische sein sollten. Wenn auch bei Thieren mit trockener Haut diese als Isolator die Fortführung der Elektricität nach außen hindern sollte, so blieben noch Reptilien, Wasserthiere höherer Klassen, so wie wirbellose Thiere genug übrig, bei welchen dieser Uebelstand hinwegfiele. Uebrigens tritt gerade bei den Zitterrochen und Zitteraalen in dieser Beziehung ein eigenes, noch nicht klares Verhältniß entgegen. Nach der ganz richtigen Bemerkung von Alex. von Humboldt, ist das System der sogenannten Schleimkanäle bei den erwähnten Zitterfischen stark entwickelt. Der Schleim ist aber bisweilen theilweise isolirend, leitet wenigstens stets weniger, als Flußwasser und Meerwasser. Allein diesem sei, wie ihm wolle, so kennen wir mit Sicherheit kein elektrisches Thier, welches zu einer anderen Klasse, als der der Fische gehörte. Daß auf die Nachricht einer elektrischen Mantis von Marcgrav nicht zu gehen sei, hat schon Rudolphi mit Recht nachgewiesen. Die von Treviranus angeführte elektrische Wirkung eines Alcyonium bursa beruht wahrscheinlich auf einer Verwechselung mit dem Nesseln, welches nicht bloß den Medusen, sondern auch einzelnen Polypen zukommt. Wie es sich mit dem von Yarrell in neuester Zeit erwähnten, aus dem tropischen Amerika stammenden großen Schmetterlinge, der elektrische Schläge austheilen soll, verhalte, muß die Zukunft lehren.

Bevor wir zu den allgemeinen Theorieen über die Wirkungsweise der elektrischen Organe übergehen, müssen wir eine Reihe von Eigenthümlichkeiten hervorheben, welche bei jeder Vorstellungsweise über die Entladungen unerklärt bleiben. 1) Obgleich die Zitterfische, wenigstens bestimmt die Zitterrochen, für galvanische Reize gleich anderen Thieren empfänglich sind, so werden sie doch durch ihre Entladungen der elektrischen Organe nicht zu Muskelcontractionen angeregt. Ein Theil des elektrischen Schlages des unpaaren elektrischen Organs des Zitteraals muß, wenn er nach außen drin-

gen soll, durch die Muskulatur der Schwanzflosse hindurchgehen. Dessen ungeachtet wird diese im Entladungsmoment dadurch nicht bewegt. 2) Gleichartige Zitterfische sind für die von ihren Genossen ertheilten Schläge unempfindlich. Während die in den Fluß getriebenen Pferde durch die Schläge der Zitteraale betäubt werden, ist dieses mit den in demselben Wasser befindlichen Gymnotis nicht der Fall. 3) Ob gleich alle thierischen Theile und auch die elektrischen Organe, so wie der übrige Körper des Zitterfisches mit Flüssigkeiten durchtränkt sind, so findet doch keine Zerstreuung des elektrischen Stromes Statt. Wir mögen vielmehr uns die Elektricitätsentladung denken, wie wir wollen, so müssen wir doch immer gewissen Theilen des elektrischen Apparates Isolationskräfte zuschreiben. Die Angabe dagegen, daß die Zitterfische, vorzüglich der Zitteraal, nach Willkühr seine Schläge leiten könne, haben wir schon oben beleuchtet. Es beruht diese scheinbare Fähigkeit wahrscheinlich darauf, daß das Thier nach Anregung seines centralen Nervensystems, sei es durch den Willen, sei es durch äußere Reize, den elektrischen Apparat total oder partiell und local entladen kann. Dieses aber gleicht der Fähigkeit anderer Thiere, einzelne Muskeln oder Gruppen derselben zusammenzuziehen, vollkommen. Wir wollen nun die wesentlichsten früheren Theorien der Entladung der elektrischen Organe durchgehen und hierauf diejenige, welche sich uns nach den gegenwärtigen Kenntnissen am wahrscheinlichsten darstellt, anführen.

1) Nur wenige Forscher theilten die Ansicht, daß die Elektricität nicht in den elektrischen Organen erzeugt werde. Matteucci sprach sich in neuester Zeit dahin aus, daß sie in dem Gehirn, in specie in den elektrischen Lappen erzeugt und nur durch die elektrischen Nerven und die elektrischen Organe nach außen geführt werde. Mit Recht hat sich schon Joh. Müller gegen diese Ansicht ausgesprochen. Wäre sie richtig, so müßten noch nach Durchschneidung der elektrischen Nerven Reizungen der centralen Theile der letzteren oder der elektrischen Lappen Schläge hervorrufen. Elektricitätsentladungen ohne die elektrischen Organe annehmen, hieße eben so viel als Muskelcontractionen ohne Muskeln statuiren.

2) Vor der Entdeckung der galvanischen Elektricität dachte man vorzüglich an die Leidener Flaschen — eine Ansicht, die später wieder verlassen worden ist, zu welcher sich aber in neuester Zeit, wie es scheint, Delle Chiaje hinneigte. Es müßte hier das Gehirn wieder das die Elektricität erregende Organ sein. Die Organe müßten sich in einer permanenten Ladung befinden, und es wäre ein bloßes Schlagen nach Willkühr kaum möglich.

3) Nach der Entdeckung des Galvanismus lag es nahe, die Säulen mit ihren Septis, galvanischen Säulen mit ihren Plattenpaaren zu vergleichen. Daß die Rudolphi'sche Ansicht, daß die Säulen des Torpedo gewöhnlichen galvanischen Säulen, die des Gymnotus Trogapparaten entsprechen, nicht ganz stricte zu nehmen sei, haben wir schon oben angeführt. Die meisten Autoren begnügten sich nun, die elektrischen Apparate überhaupt mit fertigen galvanischen Säulen zu vergleichen, ohne in die Details ihrer Wirkungsweise einzugehen. Moser [1]) stellte folgende eigenthümliche Deduction auf: »Da keine galvanische Säule ohne Veränderung der Körper bekannt ist, so »sei vorauszusetzen, daß die in den Zellen der elektrischen Organe vorhan»dene Flüssigkeit auf die Nervensubstanz verändernd einwirke. Dafür spreche »die Beobachtung John Davy's, daß die innere Substanz der Nervenpri-

[1]) Repertorium der Physik. Berlin 1837. 8. S. 251.

»mitivfasern kein Continuum bilde, sondern aus Stücken mit kleinen Zwi-»schenräumen bestand und wie geronnen erschien. Würden Muskelfasern »in dem Organe enthalten sein, so würde der Fisch in dem Moment, wo er »den Schlag ertheilt, ebenfalls einen solchen erhalten. Allein nach den Un-»tersuchungen von J. Davy (u. R. Wagner)[1]) besitzt das Organ keine »solchen.« Abgesehen von der ebenfalls hier wiederkehrenden Annahme einer permanenten Säule lehren anatomische und physiologische Untersuchungen, daß die Primitivfasern der elektrischen Nerven mit den gewöhnlichen Nervenprimitivfasern ihrem Baue nach übereinstimmen. Der Schluß in Betreff der Abwesenheit der Muskelfasern in dem elektrischen Organe fällt aus zwei Gründen. Denn 1) haben wir gesehen, daß sich durch die Entladung auch die übrigen Muskeln des Zitterfisches nicht contrahiren, und 2) könnte, selbst wenn dieses geschähe, durch den positiven centrifugalen Strom der Entladung an und für sich eben so wenig Empfindung sich erzeugen, als wir bei der Muskelcontraction Schmerz haben. Nur centripetale Ströme oder sehr heftige Schläge könnten von Empfindungen begleitet werden.

Bei der Theorie der Wirkung der Zitterfische, deren elektrische Organe wir galvanischen Batterien parallelisiren, müssen wir von vorn herein von dem Grundsatz ausgehen, daß jedes elektrische Organ keine vollständige galvanische Batterie ist. Denn wäre dieses der Fall, so müßte der Fisch fortwährend schlagen. Jede beliebige Verbindung desselben an zwei Punkten müßte sogleich Entladung zur Folge haben. Eben so wenig, wie bei der galvanischen Säule, hinge diese Wirkung von etwas Anderem, als von der Erfüllung der genannten äußern Bedingung ab. Bei den elektrischen Fischen tritt dieses keineswegs ein. Von dem Willen des Thiers hängt es ab, ob es schlagen will oder nicht, ob sich sein ganzer elektrischer Apparat oder nur ein Theil desselben entladen soll. Wir haben ferner gesehen, daß zu diesem Zwecke, wie in den motorischen Nervenprimitivfasern behuf der Muskelcontraction, so in den elektrischen Nerven das Nervenfluidum centrifugal bis zu deren peripherischen Enden strömt. Hier tritt es in die Septa des elektrischen Organs aus. In demselben Momente erfolgt auch die Entladung. Aus diesen Thatsachen ergiebt sich aber folgendes Axiom:

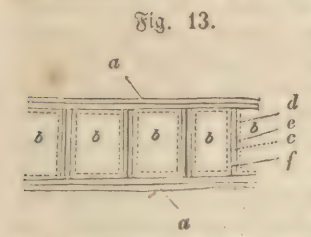
Die elektrischen Apparate der Zitterfische können unmöglich fertigen elektrischen Batterien, die, sobald ihre beiden Endpole in leitende Verbindung treten, an dem Leiter elektrothermisch, elektromagnetisch, elektrochemisch und elektrophysiologisch wirken, gleichen. Sie entsprechen vielmehr unvollständigen galvanischen Batterien, denen im Zustande der Ruhe ein Element zur Ausübung der genannten Wirkungen fehlt. Will der Fisch schlagen, so entsteht von den elektrischen Lappen, durch die centralen und peripherischen elektrischen Nervenprimitivfasern eine centrifugale Strömung des Nervenfluidums. Dieses tritt dann an den Endplexus der elektrischen Nerven in den entsprechenden Theilen des elektrischen Organs (innerhalb der Septa desselben) aus, bildet das fehlende Element, vervollständigt die Batterie und setzt sie in den Stand, sogleich und so lange der Austritt des Nervenfluidums dauert, unter den genannten geeigneten phy-

[1]) Lehrbuch der vergl. Anatomie. S. 418.

sikalischen Voraussetzungen thermisch, magnetisch, chemisch und physiologisch zu wirken.

Während wir das eben Gesagte nur dann, wenn die elektrischen Organe keine galvanischen Batterien wären, und selbst in diesem Falle noch nicht gänzlich fallen lassen müßten, so bleiben in Betreff der Bestimmung der Natur des Fehlenden und durch die Ausströmung des Nervenfluidums momentan gelieferten Elements zwei Möglichkeiten übrig. Es ist nämlich entweder der eine Elektricitätserreger oder der feuchte Leiter. Um hierüber näher einzutreten, müssen wir uns aus dem anatomischen Baue der elektrischen Organe den Typus der einzelnen Glieder der galvanischen Säule vergegenwärtigen. Dieser ist aber, wie wir oben gesehen haben, bei dem Zitterrochen und dem Zitteraale wesentlich derselbe. Wir haben ihn in Fig. 13 bildlich dargestellt. *a a* sind die, die Säulen trennenden aponeurotischen Scheidewände, *b b b b b* die in den einzelnen Zellenräumen oder Kästchen der Säule enthaltene Flüssigkeit, welche durch die Septa in ihren Zellenportionen vollständig isolirt wird. Die punktirten Linien *c* bezeichnen die Verbreitung des Epitheliums, *d e f* die Elemente des Septums außer dem genannten Epithelium und zwar *d* die unter dem Epithelium verlaufenden Blutgefäße, *e* die Grundmembran oder die Grundsubstanz des Septum, die verdünnte Fortsetzung der größeren, die Säule isolirenden aponeurotischen Scheidewände, *f* die Schicht der Endplexus der Nerven. Nehmen wir nun an, daß die Nerven den einen Erreger bilden, so würde in den übrigen Theilen des Septum der andere Erreger, in der Flüssigkeit der feuchte Leiter liegen. Vollständiger können wir aber die Theorie durchführen, wenn wir für das ausströmende Nervenfluidum die Rolle des Leiters in Anspruch nehmen. Betrachten wir die aponeurotischen Scheidewände, welche die einzelnen Säulen trennen, als Isolatoren, so müssen die Grundmembranen der Septa als die verdünnten Fortsetzungen derselben auch isolirend wirken. Wie also die Flüssigkeit und die Epithelialformation jedes Zellenraumes anatomisch abgeschnitten ist, so würde auch jede Zelle im Momente der Ruhe für sich isolirt sein. Die Erreger wären die Flüssigkeit und die Epithelialformation mit oder ohne das in den Capillarnetzen der Septa strömende Blut und die aus diesem hervortretende Ernährungsflüssigkeit. Wir hätten also auf diese Art keine zusammenhängende Batterie, sondern nur eine sehr große Zahl von Partialketten, gleichsam von galvanischen Kästchen, welche in isolirenden Kästchen eingeschlossen wären. Im Momente der Entladung wirkten die Ausströmungen des Nervenfluidums leitend, und heben so die durch die Grundmembran der Septa bedingte Isolirung auf. Die vielen isolirten Partialketten würden auf diese Art in Einem Momente in Verbindung gesetzt, und zu einer schlagenden Batterie verwandelt. Hört dagegen die Nervenströmung auf, so kehren sie in den alten Zustand der Partialketten zurück. Die elektrische Spannung einer einzelnen dieser Partialketten ist aber sicher zu klein, um irgend unmittelbar wahrgenommen zu werden. Die größeren aponeurotischen Scheidewände würden im Momente der Ruhe den Glasstäben, welche eine galvanische Säule zusammenhalten, verglichen werden können. Man könnte sich aber auch denken, daß bei starken Entladungen auch sie ihre Isolation aufgeben und die einzelnen Säulen zu Columnen

Fig. 13.



mit größeren Septis oder Plattenpaaren verbänden, wenn nicht die abwechselnde Stellung der letzteren dieser Vorstellung Schwierigkeiten in den Weg legten. Die sehnigte Hülle, welche die elektrischen Organe, vorzüglich des Zitteraals und des Zitterwelses, haben, würde die Batterien zusammenhalten und durch Compression den Contact inniger machen.

Nehmen wir nun eine elektrische Spannung zwischen der Flüssigkeit und dem Epithelialüberzuge der geschlossenen Zellen der Partialketten des elektrischen Organs an, so ist es von Interesse, die Oberfläche, welche in Spannung tritt, ungefähr zu schätzen. Lacepède bestimmte diese bei einem Torpedo von gewöhnlicher Größe auf 58, bei einem Gymnotus von 4 Fuß Länge auf 123 Quadratfuß. Schon wenn man die kleinen elektrischen Organe des Zitterrochen mit den großen des Zitteraals vergleicht, ergiebt sich, daß diese Zahlen, selbst entfernt annähernd, unmöglich richtig sein können. Um hier etwas Sichereres zu haben, müssen wir die mittlere Oberfläche jedes Septums und die mittlere Distanzfläche von je zwei Septis bestimmen. Man sieht nach dem in Fig. 13 gegebenen Schema, daß die doppelte Summe dieser beiden Größen die Oberfläche des Epithelialüberzuges Einer Zelle giebt. Bei dem oben erwähnten Torpedo galvanii von 10'' 5''' Länge zeigte sich als mittlere Oberfläche eines Septum 1,44''' Quadratlinie. Die mittlere Distanz zwischen je zwei Septis betrug 0,01''' Quadratlinie: folglich die mittlere Distanzfläche 0,0012''' Quadratlinie. Jede Zelle hatte daher eine mittere Berührungsoberfläche von 2,904''' Quadratlinien. Da nun 125788 — 410 = 125378 Zellen in Einem elektrischen Organe vorhanden waren, so giebt dieses 36,4 Quadratfuß Berührungsoberfläche. Auf den gesammten elektrischen Apparat kämen dann 72,8 Quadratfuß Contactoberfläche. Nehmen wir für die mittlere Oberfläche jedes Septums des obern elektrischen Organs des Gymnotus 0,64''' Quadratlinie und für jede Seitenwand der Zelle 0,05''' Quadratlinie an, so haben wir für jeden Zellenraum 1,38''' Quadratlinie Berührungsfläche. Da nun in jedem seitlichen Organ eines noch nicht ganz 4 Fuß langen Zitteraales 1996800 — 390 = 1996410 Zellen enthalten waren, so gäbe dieses 275,5 Quadratfuß Contactfläche. Auf beide seitlichen Organe kämen dann 551 Quadratfuß. Schlagen wir für die mittlere Oberfläche eines Septum des untern elektrischen Organs, wie es sich aus Messungen ergab, 0,72''' Quadratlinie und für die mittlere Seitenfläche Einer Zelle 0,0028''' Quadratlinie an, so erhält man für Eine Zelle 1,4456''' Quadratlinie und für 160000 Septa 23,13 Quadratfuß Berührungsoberfläche. Der ganze elektrische Apparat hätte daher 574,13 Quadratfuß Contactfläche. Obwohl bei allen diesen Schätzungsberechnungen die Bestimmungen eher zu klein, als zu groß genommen worden, so resultiren doch daraus ihrer Größe nach sehr beträchtliche Zahlen. Verkleinert man sie aber auch noch so sehr, so erhellt so viel daraus, daß bei den Zitterfischen die Contactflächen so außerordentlich groß sind, daß die contactelektrische Spannung, wenn nur nicht die Elektricität durch die, die Organe des Zitterfisches durchtränkende Feuchtigkeit abgeleitet und zertheilt wird, bloß ein Minimum zu sein braucht, um durch die Battericcombinationen ungeheuere Effecte hervorzubringen. Die letzteren könnten vielleicht, so bedeutend sie auch sind, nach den eben angestellten Berechnungen eher zu klein, als zu groß erscheinen. Offenbar geht ein Theil derselben durch das den Fisch umgebende Wasser verloren. Im Meerwasser wird dieser Verlust stärker ausfallen. Allein auch er hat seine bestimmten Grenzen. Neeff zeigte mir an seinem Magnetoelektrometer, daß, wenn

man die beiden Polrähte in ein Bassin mit Wasser tauchte, die Wirkung in der Nähe der Drähte am stärksten war und nach der Peripherie hin in Wasser abnahm. Die beiden Drähte bildeten gleichsam die Längenachse einer galvanischen Wirkungsellipse. Etwas Aehnliches zeigt sich, wie schon angeführt wurde, nach Faraday, bei dem Zitteraale.

Da aber das ausströmende Nervenfluidum, welches die Batterien erzeugt, ein imponderables Agens ist, so erklärt sich hieraus, warum der Zitterroche im Momente der Entladung nicht an Volumen (und sicher auch nicht an Gewicht) zunimmt. Vielleicht daß auch die dargelegte Theorie einen Fingerzeig zur Erklärung der oben angeführten Thatsache, daß die Irritabilität der elektrischen Organe geringer, als die der Muskeln ist, an die Hand giebt. In beiden strömt das centrifugal geleitete Nervenfluidum in die entsprechenden peripherischen Organtheile aus. In den Muskeln trifft es eine Substanz, die sich, wenn sie eben von dem übrigen Körper getrennt ist, auch nach directen Reizen ohne Vermittelung des Nervenfluidums contrahiren zu können scheint. In den elektrischen Organen dagegen muß es entweder einen Erreger oder den Leiter bilden. Es muß daher dasselbe Quantum von Nervenfluidum leichter Muskelcontractionen, als elektrische Entladungen vermitteln können.

Aus dem Baue der elektrischen Organe ersehen wir aber endlich noch, daß die Natur es vorgezogen hat, sehr große Contactapparate in den elektrischen Organen aufzubauen, als ursprünglich geringere elektrische Wirkungen zu erzeugen und diese dann durch Condensation oder Multiplication zu verstärken. Eine sehr lange isolirte Spirale zu construiren, wäre ihr um so leichter gewesen, als bekanntlich der Stellung der meisten, wo nicht aller Gewebtheile die Spiral- oder Schraubenlinie zum Grunde liegt. Vielleicht daß aber dann die physiologischen Effecte der Batterien auf Kosten anderer, nicht beabsichtigter Wirkungen derselben vermindert worden wären.

II. Die bei den übrigen Thieren und dem Menschen bei Gelegenheit der verschiedenen functionellen Verhältnisse ihres Körpers zum Vorschein kommenden elektrischen Strömungen sind zwar bisjetzt von vielen Forschern untersucht worden. Dieses ganze Gebiet von Studien aber drehte sich größtentheils um die Aufstellung von Annahmen des Erscheinens elektrischer Strömungen durch vitale Processe, oder die Widerlegung solcher Hypothesen. Schon vor der Entdeckung des Galvanismus führten die Schnelligkeit der Elektricitätsleitung, die Lichtentwickelung, der elektrische Schlag, die Anwendung der Reibungselektricität zu heilkünstlerischen Zwecken zu einzelnen Vergleichungen der vitalen Erscheinungen mit den Phänomenen der Elektricität. Wie nämlich zu den verschiedenen Zeiten ähnliche Vorstellungen in dem relativen Zeitgewande wiederkehren, so war es auch hier der Fall. Man identificirte die Wirkungen des sogenannten Phlogiston mit denen der gemeinen Elektricität und hatte so einen Uebergang zu den vitalen Erscheinungen gewonnen. Allein auch damals erklärten sich schon besonnene Forscher, wie Cavallo[1]), gegen solche Annahmen. Der Umstand, daß die Contactelektricität durch die in dem Froschschenkel entstehenden Zuckungen zuerst wahrgenommen wurde, führte in der ersten Zeit, wie es schien, mit vollem Rechte zu der galvanischen Ansicht, daß im Momente der Contraction ein elektrisches Fluidum

---

[1]) Versuch über die Theorie und Anwendung der medicinischen Elektricität. Aus dem Englischen. Leipzig. 8. S. 13. 14.

von dem Nerven in den Muskel übergeführt werde, und daß die Application der Metalle, durch welche solche Convulsionen zur Erscheinung gebracht werden, auf die elektrische Flüssigkeit der Nerven nur anziehend wirke und es gleichsam aus den Nervenfasern in die Muskelfasern hinein hervorlocke. Die ersten zahlreichen Beobachtungen von Galvani, Volta, Alex. von Humboldt, Ritter, Pfaff, Vasalli-Eandi, Creve, Nysten und vielen Anderen, betrafen auch vorzüglich die durch Contactelektricitätsverhältnisse an den Muskeln der Thiere, vorzüglich der Frösche, und des Menschen wahrnehmbaren galvanischen Phänomene. Als aber der Galvanismus durch Volta auf seinen wahren Standpunkt als Contactelektricität zurückgeführt wurde, als man zuerst erkannte, daß die merkwürdigsten Wirkungen der Berührungselektricität durch rein unorganische, einander elektrisch entgegengesetzte Körper erzeugt und an den auf andere unorganische Körper ausgeübten Wirkungen erkannt würden, und als man später zu der Einsicht kam, daß der Froschschenkel und andere thierische Theile nur die feinsten Elektroskope bildeten, stellten diese objectiv wissenschaftlichen Forschungen die Elektricitätsfrage der organischen Körper anders. Die früheren scheinbar so sichtlichen Beweise der durch Elektricität erzeugten vitalen Phänomene entbehrten wieder aller Stütze. Nichts desto weniger hatten bei Einzelnen die früheren Hypothesen so festen Fuß gefaßt, daß mehrere Physiologen ersten Ranges jener Zeiten, z. B. Prochaska, dennoch keinen Anstand nahmen, die Lebenserscheinungen und vorzüglich die Thätigkeit des in den Nerven strömenden Principes oder des Nervenfluidums oder Nervenagens mit der Elektricität zu identificiren. Allein theils der Mangel an objectiven Beweisen, theils die geringere Aufmerksamkeit, welche man, gleichsam erschlafft, im Gegensatz zu einer früheren Periode den organischen Elektricitätsströmungen zuwandte, ließ solche Ansichten immer mehr in den Hintergrund treten. Dazu kam noch, daß die zu jenen Zeiten über die Schläge der elektrischen Fische vorliegenden Thatsachen darauf hinzudeuten schienen, daß die durch diese Thiere entwickelte Elektricität von der unorganischen, sowohl der Reibungs-, als der Contactelektricität abwiche. Als wieder durch die Entdeckung des Elektromagnetismus die Aufmerksamkeit der Physiker auf die gegenseitige Erregung der allgemeinen Naturagentien gelenkt worden, als man zuerst wieder geneigt wurde, Elektricität und Magnetismus zu identificiren, mußte auch die Idee, daß das elektrische Fluidum und das Nervenfluidum identisch seien, von Neuem hervortreten. Prevost und Dumas stellten eine zum Theil auf ihre mikroskopischen Untersuchungen basirte Hypothese, wie durch eine centrifugale, in den Nerven erscheinende, elektrische Strömung die Muskelcontraction zu Stande komme, auf. Einen größeren Aufschwung erlangte aber das Bemühen, in dem lebenden Körper galvanische Strömungen nachzuweisen, mit der Entdeckung des Schweigger'schen Multiplicators oder des Galvanometers. Die durch Application der beiden Poldrähte des Instrumentes an zwei heterogene Theile eines lebenden oder todten Thieres zu erzeugenden Abweichungen der Magnetnadel wurden bald constatirt. Es wiederholte sich nun in neuerer und neuester Zeit der ziemlich unfruchtbare Streit, ob diese Strömungen oder gewisse Modificationen derselben Folgen der Lebenserscheinungen oder rein physikalische Phänomene seien. David, Donnè, und in neuester Zeit Puccinotti und Pacinotti, Zandeteschi und Forio wollten sie als Folgen vitaler Thätigkeit betrachten, während Joh. Müller, Sterneberg, der Verfasser, Matteucci, die Commission der Turiner naturforschenden Ge-

sellschaft, Beruti und Bischoff und Joly mit Recht in den dann zum Vorschein kommenden Phänomenen nur physikalisch-chemische Aeußerungen fanden. Die Entdeckung des Thermomagnetismus gab natürlich auch Gelegenheit, die durch Eigenwärme der Thiere und des Menschen und die verschiedenen Theile derselben entstehenden elektrischen und magnetischen Ströme darzustellen. — Punkte, welchen besonders Breschet, Becquerel und Dutrochet ihre Studien zuwandten. Bei diesen ganzen Versuchen, welche mit Ausnahme der letzteren mehr auf negative, als auf positive Resultate hinauslaufen, richtet sich der Werth der Beobachtungen nach der Empfindlichkeit des zum Experimentiren gebrauchten Galvanometers und der in Betreff der Leitungsdrähte und bei der Ausführung des Versuches überhaupt angewandten Vorsichtsmaßregeln. Es giebt vielleicht kein Feld physikalischer und physiologischer Experimente, welches mehr Delikatesse und mehr Berücksichtigung bei dem Handeln erfordert, als dieses. Die kleinsten Umstände wirken störend oder ändernd. Auch bei der größten Vorsicht und unter scheinbar sehr gleichen Verhältnissen hat man entgegengesetzte Resultate. Um daher über alle hier in Betracht kommenden Punkte ein Urtheil vorzubereiten und sicherere Sätze, so weit es der gegenwärtige Zustand der Physik erlaubt, zu gewinnen, schien es mir nothwendig, fast sämmtliche hieher gehörenden Experimente zu wiederholen. So viel wie ich weiß, waren die empfindlichsten Galvanometer, welche man (Breschet, Becquerel, Matteucci und Dutrochet) bis jetzt zu solchen Untersuchungen gebraucht hatte, Gourjon'sche mit 2500 Windungen. Durch die Güte meines Collegen, Prof. Brunner, konnte ich ein Schröder'sches Galvanometer von 3300 Windungen benutzen. Da alles Kupfer mit etwas Eisen verunreinigt ist, so waren bei dem Instrumente die dann nothwendigen Störungen durch den Erdmagnetismus durch kleine mit Firniß aufgeklebte Eisenstückchen aufgehoben. Ueber den beiden astatischen Nadeln schwang eine feine Silbernadel als Zeiger. Die Zapfen, an welche die Kupferdrähte des Galvanometers angelöthet waren, wurden von Zeit zu Zeit, um jede Spur sich bildenden kohlensauren Kupferoxydes zu entfernen, mit Schmirgelpapier abgerieben. Unten wurden sie zu besserer Schließung bei den zu erzählenden Versuchen mit der leichtflüssigen Metallmischung umgossen. Bei denjenigen Experimenten, bei welchen nicht ausdrücklich Veränderungen angegeben sind, waren die Näpfchen der Kupferbügel mit Quecksilber oder bei Anwendung von Zinkplatten als Leiter mit ziemlich gesättigtem Zinkamalgam gefüllt. Die Empfindlichkeit des Instrumentes war auch so groß, daß, wenn man zur Leitung Platindrähte gebrauchte, die bloße Eintauchung der beiden mit Glaspincetten gefaßten Leitungsdrähte in ein mit destillirtem Wasser gefülltes Gefäß eine Abweichung der Magnetnadel, die selbst bisweilen bis 5° — 8° stieg, in der Regel aber 1° — 3° betrug, erzeugte. Ein einfaches Zink-Kupferplattenpaar von Einer Quadratlinie Durchmesser drehte die Nadel im Kreise herum.

Die hier in Untersuchung kommenden Ströme zerfallen in drei Klassen 1) Contactelektrische oder minder gut bezeichnet, chemisch-elektrische. 2) Thermoelektrische und 3) vital-elektrische. Bei den contactelektrischen werden die beiden Leitungsdrähte des Galvanometers durch zwei verschiedene Punkte des thierischen Körpers geschlossen. Der letztere kann daher entweder nur als feuchter Leiter oder als solcher und als Elektricitätserreger wirken. Wir werden ihn in beiden Rollen antreffen. Bei den thermoelektrischen Versuchen muß man, um notable und constante Resultate zu erhalten, die Leitungs-

drähte selbst so anordnen, daß sie, an die Quecksilbernäpfchen des Galvanometers applicirt, eine geschlossene Kette erzeugen. Man löthet daher die beiden freien Enden von zwei Platin- oder Kupfer- oder Zinkdrähten mit den beiden Enden eines Eisendrahtes zusammen. Ist die eine Löthstelle höher temperirt, als die andere, so entsteht eine Abweichung der Magnetnadel. Daß man auf diese Art die Temperatur eines thierischen Körpers mit der eines anderen und die Wärme der verschiedenen thierischen Theile unter einander vergleichen könne, versteht sich von selbst. Bei der Aufsuchung vital-elektrischer Strömungen sucht man, mehr von dunkelen Ahnungen, als durch sichere Principien geleitet, beide Methoden mit mannigfachen Modificationen in Anwendung zu bringen.

1) Contactelektrische Strömungen. Hier werden also die beiden sonst nicht geschlossenen Leitungsdrähte des Galvanometers an verschiedene Hautstellen oder innere Theile applicirt. Ist der Theil natürlich oder künstlich durchfeuchtet, so entsteht fast immer eine mehr oder minder große, oft bei zwei auf einander folgenden Experimenten in Größe und und bisweilen selbst in der Richtung variirende Abweichung. Sind die Theile trocken, so verschwinden die Declinationen fast immer gänzlich oder sind selbst in den wenigen Ausnahmsfällen äußerst klein. Die Variationen hängen übrigens außer kleinen untergeordneten, kaum zu berechnenden Umständen von der Natur und der Form der Leitungsdrähte und der elektrischen und chemischen Spannung der letzteren gegen das Quecksilber und die thierischen Theile ab. Eine sehr nothwendige Vorsichtsmaßregel besteht noch darin, daß beide Leitungsdrähte genau dieselbe Größe und Masse haben. Findet Ungleichheit Statt, so erhält schon dadurch die Magnetnadel die Tendenz nach der Seite hin, wo der kürzere und weniger massige Draht sich befindet, abzuweichen. Bei scheinbar noch unbedeutender Ungleichheit der Leiter wird diese Störung so groß, daß die Magnetnadel immer in bezeichneter Richtung hin declinirt und daß alle durch die thierischen Theile erzeugten Strömungen auf diese Art gar nicht oder getrübt zum Vorschein kommen. Es wurden daher die beiden Leitungen nicht nur der Größe nach gleich abgemessen, sondern auch auf einer chemischen Wage genau tarirt. Der Frosch wurde in einem Korkrahmen mit gewichster Seide schwebend aufgespannt und so isolirt erhalten. Die Schließung geschah natürlicher Weise mit Glaspincetten. Eine über den in dieser Beziehung stattfindenden Werth der verschiedenen als Leitungen angewandten Metalle gemachte Versuchsreihe ergab z. B.

	Schließung der beiden Galvanometernäpfe durch einen Bogen.	Eintauchen der beiden Leiter in destillirtes Wasser.	Application der beiden Leiter an die Mundspitze und den rechten Fußballen eines und desselben Frosches.
1) Platindraht	— 2°	+ 4°	— 6°
2) Platinblech	0°	+ 4°	— 5°
3) Uebersilberter Kupferdraht .	— 0,5°	— 24°	+ 14°
4) Messingdrähte	— 1°	+ 9°	— 6°
5) Ausgeglühter Stahldraht .	— 1°	— 12°	+ 3°
6) Zinkblech	— 1,5°	— 19°	— 21°

Hieraus erhellt, daß übersilberter Kupferdraht und Zinkblech unter den geprüften Metallen die größten Abweichungen ergeben — Data, die sich auch bei ferneren Versuchen bestätigten. Will man alle durch Amalgamirung und Oxydation des metallischen Leitungsstückes entstehenden Nebenverhältnisse vermeiden, so muß man mit dem Platin experimentiren, ist aber dann freilich genöthigt, auf die Erkenntniß kleiner Differenzen zu verzichten, weil einerseits der chemische Proceß fast Null ist und anderseits die Leitungsfähigkeit des Platins für elektrische Ströme nicht sehr hoch steht. Es läßt sich schon theoretisch erwarten, daß bei unmittelbarer Application der thierischen Theile an das leitende Quecksilber die Ausschläge viel bedeutender werden. Ein Frosch z. B., der bei Berührung seiner Mundspitze und seiner Fußfläche der rechten Seite mit übersilbertem Kupferdrahte + 12, mit Zinkblättern — 29° gab, erzeugte wenn man die genannten Theile an das Quecksilber der kleineren Näpfe unmittelbar anlegte, + 96°. Bei allen diesen, wie bei den folgenden Versuchen wurde übrigens derjenige Theil, welcher zuerst genannt wird, an den Pol des aufsteigenden, der andere an den des absteigenden Kupferdrahtes des Galvanometers applicirt.

Da die unmittelbare Application der thierischen Theile an das Quecksilber der kleineren Galvanometernäpfe sehr unbequem ist und überdieß auch sogleich von Neuem Verschiedenheiten entstehen, je nachdem nur das Quecksilber oder dieses und das Kupfer berührt werden, so muß man bei den mannigfachen, noch zu erwähnenden Vortheilen, welche das Quecksilber gewährt, diesen Uebelstand zu vermeiden suchen. Man kann dieses nun einfach dadurch erlangen, daß man zwei größere Glasgefäße mit Quecksilber füllt und diese mit den beiden Quecksilbernäpfchen des Galvanometers durch Platindrähte oder Platinblech in Verbindung setzt. Allein auf diese Art geht durch die geringere Leitung und Masse des Platins ein Theil der starken Wirkung verloren. So ergab der oben erwähnte Frosch z. B. bei dem Eintauchen in einen solchen Apparat eine Declination von höchstens + 25° bei Platindrähten, und + 54 bei Platinblechen. Es ist daher folgende Veränderung des Apparates zweckmäßiger. In zwei runde, 1½ Zoll im Durchmesser haltende Pappkästchen werden Löcher so gebohrt, daß die kleineren Quecksilbernäpfchen genau hindurch gehen und daß das Pappkästchen, mit Quecksilber gefüllt, nichts hindurch lasse, anderseits jedoch das Kupfer des kleineren Quecksilbernäpfchens rings umgeben. Man hat so Raum genug, um die thierischen Theile von der Berührung mit dem Kupfer frei zu erhalten, und erzeugt sogar eine noch größere Verstärkung. So ergab z. B. der oben erwähnte Frosch in diesem Falle eine Abweichung von + 120°. Da dieser Apparat in der Folge mehrfach gebraucht werden wird, so wollen wir ihn mit dem Namen der größeren Quecksilbernäpfe bezeichnen. Sollen die Experimente mit ihm exact ausfallen, so muß man nach jedem Versuche die Oberfläche des Quecksilbers von Wasser und anderen fremden Theilen reinigen. Das Erstere geschieht mittelst eines Stückchens Löschpapier, das Letztere am Besten mit dem Finger. Der Frosch wird, um die Ausschläge größer zu machen, mit destillirtem Wasser mittelst der Sprützflasche durchfeuchtet.

Trotz seiner mannigfaltigen Mängel ist der Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen noch derjenige, welchen ich nach vielfachen eigenen Versuchen am meisten empfehlen kann. Metallische Platten oder einfache Drähte leisten,

wenn man die Berührungsflächen in Anschlag bringt, viel weniger. Der bekannte von Henry beobachtete Umstand, daß ein einfaches Zink=Kupferplattenpaar, wenn es durch einen eingeflochtenen Kupferdraht verbunden ist, größere physiologische Wirkungen hat und daher leichter Muskelzuckungen erzeugt, als bei einer Verbindung durch einen einfachen Kupferdraht, führte mich auf die Idee, solche eingeflochtene Kupferdrähte als Leiter zu versuchen. Ist ihre Oberfläche und ihr Gewicht genau das Gleiche, so leisten sie durchaus nichts mehr als einfache Drähte, obwohl die von mir angewandten Leiter der Art aus 22 Kupferdrähten von beinahe 2 Fuß Länge bestanden. Sind sie an Volumen oder Oberfläche (Drehung) unter einander ungleich, so sind sie, wie andere ungleiche Leitungen, nicht zu gebrauchen. Dabei haben sie noch den Nachtheil, daß sie durch ihre Capillarität Quecksilber aufsaugen und hierdurch einerseits die Näpfchen nach und nach entleeren, anderseits die Resultate trüben. Löthet man an ihren 4 Enden 4, zu je zwei gleich große und gleich schwere Kupfermassen, so verlieren sie noch von ihrer Wirkung, selbst wenn man, geleitet durch die Gesetze der Reibungselektricität, die mit dem thierischen Körper in Berührung kommenden, Kupferstücke breit schlägt und mit einer Reihe von Zähnen versieht. Am Besten ist es noch, die Enden so fest zusammen zu drehen, daß sie ihre Capillaraction verlieren und Spitzen bilden. Für die Anwendung fester Metalle fand ich es am Zweckmäßigsten, Kupferdrähte oder besser Zinkbleche von gleicher Länge auf der chemischen Wage genau zu tariren und dann bis auf gleiche in das Quecksilberamalgam zu tauchende Spitzen sorgfältig zu überfirnissen. Vor jedem Versuche muß man an destillirtem Wasser prüfen, ob auch beide Drähte vollkommen gleich gehen oder nicht.

Alle, in die Hunderte gehenden Versuche, welche ich anstellte, laufen auf das Resultat hinaus, daß die thierischen Theile, wenn sie als Erreger der Contactelektricität wirken, diese Kraft in so geringem Maße haben, daß alle, selbst die scheinbar kleinsten äußeren Momente, ihre Wirkung stören oder aufheben. Hierin liegt offenbar das ganze Räthsel der so unendlichen Schwankungen, welche in Betreff der Größe und der Richtung der Abweichungen wahrgenommen werden. In größerm Maße als von heterogenen thierischen Theilen gilt das Gesagte von heterogenen Hautstellen. Keine der Angaben, daß bei einem Frosche oder bei einem Säugethiere eine bestimmte Strömungsrichtung von den Füßen nach dem Kopfe vorhanden sei (Matteucci), daß solche Strömungen nach dem Tode in entgegengesetzte Directionen umschlagen (Puccinotti und Pacinotti) u. dgl. konnte ich irgend wie bestätigt finden. Operirt man mit festen Metallen als Leitern, so erhält man mit den unten zu erwähnenden Ausnahmen fast immer, selbst bei einem und demselben Thiere, keine constanten Richtungen der Abweichung, wenn man selbst beide Drähte oder Platten gleichzeitig an zwei verschiedene befeuchtete Hautstellen oder gleichartige innere Theile applicirt. Dagegen giebt der Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen, wegen der durch die Flüssigkeit des Metalls gebildeten Vortheile, bei einem und demselben Frosche wenigstens in der überwiegenden Majorität der Fälle constantere Resultate. Ein Beispiel liefert folgende Tabelle, wo a den Fall bedeutet, bei welchem die Mundspitze in den Napf des aufsteigenden, die Füße in den des absteigenden Galvanometerdrahts tauchten, während bei b gerade das Umgekehrte stattfand. Die römischen, übergeschriebenen Zahlen bezeichnen die einzelnen mittleren und größeren Individuen von Rana esculenta, welche zu diesen Versuchsreihen dienten.

Versuche	I.	II.	III.	IV.	V.
1. a	+ 59°	— 8°	— 36°	— 15°	— 10°
2. a	+ 47°	» »	» »	» »	» »
3. a	+ 42°	» »	» »	» »	» »
4. b	— 43°	+ 42°	+ 19°	+ 20°	+ 14°
5. b	— 87°	» »	» »	» »	» »
6. b	— 30°	» »	» »	» »	» »
7. b	— 37°	» »	» »	» »	» »
8. a	+ 34°	— 16°	— 37°	— 11°	— 16°
9. b	— 14°	+ 40°	+ 10°	+ 34°	+ 14°
10. a	+ 34°	— 32°	— 14°	— 30°	— 14°
11. b	— 23°	+ 47°	+ 31°	+ 28°	+ 15°
12. a	+ 10°	» »	» »	» »	» »
13. b	— 16°	» »	» »	» »	» »

Es ergiebt sich hieraus, daß im Allgemeinen Kopf und Füße im Verhältniß zum Quecksilber einen contactelektrischen Gegensatz behaupten. Wir werden in der Folge noch auf Versuche, welche angeblich eine constante Strömung von den Füßen nach dem Kopfe anzeigen sollten, zurückkommen. Aus der obigen Tabelle sieht man aber schon, daß der contactelektrische Gegensatz zwischen Quecksilber und der Haut der Mundspitze und der Fußzehen bei verschiedenen Fröschen durchaus wechselt, obgleich allerdings die Majorität der Fälle (II. bis V.) sich dahin neigt, daß dann die Fußzehen positiv, die Mundspitze negativ seien.

Ein ähnliches Verhalten, wie zwischen Mundspitze und Fußzehen, findet zwischen den Vorderzehen und den Fußzehen Statt. In den meisten Fällen können ohne Ausnahme die Vorderzehen durch die Mundspitze und umgekehrt substituirt werden. In der folgenden, beispielsweise angeführten Tabelle bezeichnet a den Fall, wo Mundspitze und Fußzehen, b Vorderzehen und Hinterzehen, c Fußzehen und Mundspitze, d Fußzehen und Vorderzehen eintauchten.

Versuche	I.	II.	III.
1. a	+ 23°	— 24°	— 54°
2. b	+ 53°	— 14°	— 45°
3. c	— 34°	+ 25°	+ 53°
4. d	— 28°	+ 54°	+ 66°
5. a	+ 35°	— 60°	— 42°
6. b	+ 53°	— 35°	— 35°
7. c	— 36°	+ 30°	+ 42°
8. d	— 49°	+ 17°	+ 40°
9. a	+ 34°	— 32°	— 33°
10. b	+ 51°	— 33°	— 24°
11. c	— 20°	+ 30°	+ 43°
12. d	— 40°	+ 15°	+ 53°

Alle hier zu erzielenden Declinationen fallen übrigens, sie mögen ihrer Größe nach noch so verschieden sein, wie sich erwarten läßt, weit größer aus, als wenn beide größeren Quecksilbernäpfchen durch andere unorganische (eine geringere Spannungsoberfläche erzeugende und weniger feuchte) Leiter in Verbindung gesetzt werden. So ergab sich an demselben Apparat, der zu den obigen Froschversuchen gebraucht wurde, bei Schließung durch Platindraht, Pla-

tinblech, übersilbertem Kupferdraht und Messingdraht 0°, durch ausgeglühten Stahldraht — 1°, durch Zinkblech — 2°, durch Eisendraht und durch ein mit Salzwasser befeuchtetes Löschpapier — 3°. Daß auf die relativen Größen dieser Ausschläge sowohl bei den einzelnen unorganischen Körpern, als vorzüglich bei den einzelnen Froschversuchen kein Werth zu legen sei, versteht sich von selbst.

Mittelst des Quecksilberapparats mit größeren Näpfen lassen sich natürlich auch andere Hautstellen auf ihre contactelektrischen Verhältnisse leicht prüfen. Doch darf man nie vergessen, daß die die beiden Quecksilberoberflächen berührenden Oberflächen des Frosches möglichst gleich seien, weil man sonst nur Scheinresultate erhält und die Nadel nach der Seite hin, welche eine größere Berührungsoberfläche hat, ausweicht. So zeigt sich aus diesem Grunde fast immer die Bauchhaut im Verhältniß zur Bauchfläche der Unterschenkelhaut, die Rückenhaut im Verhältniß zur Rückenfläche der Unterschenkelhaut positiv.

Bei allen diesen Versuchen erscheinen häufig noch mehre zu erwähnende Nebenverhältnisse. 1) Wiederholt man, ohne eine neue Befeuchtung des Froschtheils mit destillirtem Wasser vorzunehmen, einen und denselben Versuch hinter einander mehre Male, so werden unter sonst gleichen Verhältnissen die Abweichungen meistens geringer, weil das auf der Oberfläche des Frosches befindliche leitende Wasser seiner specifischen Schwere nach an die Quecksilberoberfläche tritt, und die Froschoberfläche an den Berührungsstellen daher allmälig vertrocknet. Bei neuer Befeuchtung mit Wasser resultiren dann wieder größere Declinationen. 2) Sehr oft bleibt die Nadel im Momente des Eintauchens ruhiger oder bewegt sich langsamer und verstärkt ihre Schnelligkeit einige Zeit nach dem Eintauchen bis zu dem Maximum ihrer Declination bedeutend. Es ereignet sich auch häufig, daß sie zuerst etwas nach der andern Seite hingeht, um hierauf in der entgegengesetzten Direction desto schneller zu decliniren. Besonders im Anfang einer Versuchsreihe ereignet es sich häufig, daß die erwartete Strömungsrichtung nicht eintritt, daß sie sich aber bald nach einmaligem Eintauchen in das Quecksilber einfindet und dann bleibt. Die Ursache dürfte darin liegen, daß die an der Froschoberfläche haftenden fremden Körper die Einwirkung stören, daß jene dann durch das Quecksilber, gleich dem Wasser, wenn nicht ihre Adhäsion überwiegt, entfernt werden, und daß dann erst Froschoberfläche und Quecksilberoberfläche in ein mehr constantes Contactverhältniß treten.

Gegen alle von früheren Autoren angegebenen Experimentirungsmethoden, um bestimmte Strömungsrichtungen an der Haut des Frosches nachzuweisen, lassen sich theils Einwendungen, welche die Resultate zum Theil als illusorisch darstellen, erheben, theils entgegengesetzte Ergebnisse anführen. Da die Contactelektricität selbst, welche von den Hautstellen erzeugt wird, so gering ist, daß die durch Außenverhältnisse entstehenden Abnormitäten dieselben überwiegen, so fallen alle Versuche, bei welchen die Leitungsdrähte an Gewicht und Länge ungleich waren, von selbst hinweg. Bei festen metallischen Leitern überhaupt werden die Resultate selbst bei Beobachtung dieser Vorsichtsmaßregeln so schwankend, daß durchaus nicht darauf zu gehen ist. Matteucci[1]) schlug, dieses wohl fühlend, einen andern Weg ein. Er füllt vier Porcellangefäße mit leicht gesalzenem Wasser, verbindet die beiden äußeren Gefäße durch Platinblätter mit den Quecksilbernäpfchen eines Gourjon'schen Galvanometers von 2500 Umgängen und mit den beiden inneren Gefäßen durch wohl durchfeuchtete Baumwollendochte; wenn nun die beiden inneren Gefäße durch einen ent-

---

[1]) Essai sur les phénomènes électriques des animaux. Paris 1840. 8. p. 75. 76.

häuteten Frosch verbunden werden, so entstehe immer eine Abweichung der Magnetnadel mit einer von den Füßen nach dem Kopfe gehenden constanten Strömungsrichtung. Von vorn herein läßt sich gegen die ganze Construction des Apparats einwenden, daß die Anwesenheit der beiden inneren Gläschen und deren Verbindung mit den beiden äußeren durch befeuchtete Baumwollendochte nur dazu dient, die Declinationen zu schwächen, ohne irgend einen Vortheil zu bieten. Man überzeugt sich auch leicht, daß sich die Abweichungen verstärken, wenn man die Froschtheile in die beiden äußeren Gläschen unmittelbar taucht. Allein auch in diesem Falle erreichen sie die durch den Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen zu erzielenden Ausschläge bei weitem nicht. Hält man sich genau an den Matteucci'schen Apparat, so sind die Ausschläge, welche man bei Schließung durch den unverserhrten Frosch erzeugt, nicht größer, als diejenigen, welche man durch Schließung vermittelst verschiedenartiger Metallbogen erzielen kann. Bei vergleichenden Versuchen zeigte sich, daß lebende oder eben getödtete oder schon 18 Stunden todte und in Wasser aufbewahrte Frösche sich in ihren Ausschlägen wie die schwächeren Metalle verhalten. Diese letzteren folgen aber in aufsteigender Reihe als Messing, übersilberter Kupferdraht, Platin, Stanniol, Eisen und ausgeglühter Stahl. Da bei Anwendung von Platin als Leitungsmetall der chemische Proceß sehr schwach ist, so läßt sich erwarten, daß andere Metalle, an dessen Stelle gesetzt, größere Declinationen hervorrufen werden. Am Zweckmäßigsten erwiesen sich in dieser Beziehung Zinkbleche und Eisendrähte. Allein man mag den Apparat auf alle erwähnten Arten modificiren, so ist die angeblich constante Strömung von den Füßen nach dem Kopfe nicht nur bei dem unverletzten, sondern auch bei dem enthäuteten Frosch nicht vorhanden, obwohl der enthäutete Theil allerdings im Gegensatz zu dem nicht enthäuteten die Neigung zeigt, als positiv aufzutreten. Als Beleg hierfür möge folgende mit Matteucci's Apparat gemachte Versuchsreihe dienen.

A. Der Frosch ganz unverletzt.

	I.	II.	III.	IV.
1. a Mundspitzen und Fußzehen . .	+ 2°	+ 2,5°	+ 7°	+ 7,5°
2. b Fußzehen und Mundspitze . .	+ 9°	+ 3°	0°	+ 1°
3. c Vorderzehen und Fußzehen . .	+ 1°	+ 1°	+ 2°	+ 1,5°
4. d Fußzehen und Vorderzehen . .	0°	+ 1,5°	+ 1°	0°

B. Die linke hintere Extremität enthäutet.

	I.	II.	III.	IV.
5. wie a	+ 2,5°	+ 3°	+ 5°	+ 6°
6. wie b	+ 0,5°	0°	0°	0°
7. wie c	0°	+ 0,5°	0°	— 1°
8. wie d	— 2°	— 1°	0°	+ 1,5°

C. Das Präparat wie B, nur daß nicht beide Füße, sondern nur der enthäutete mit dem Apparat in Berührung kam.

	I.	II.	III.	IV.
9. wie a	+ 2,7°	0°	0°	0°
10. wie b	0°	— 0,5°	0°	0°
11. wie c	+ 0,5°	+ 0,5°	+ 0,5°	+ 1°
12. wie d	0°	0°	+ 0,5°	0°

D. Mit beiden abgehäuteten Hinterfüßen.

	I.	II.	III.	IV.
13. wie a	+ 2,5°	+ 2°	+ 1,5°	+ 1°
14. wie b	− 1°	+ 1°	+ 1°	0°
15. wie c	0°	0°	− 1,5°	− 2°
16. wie d	0°	0°	0°	0°

E. Das Präparat wie D. Nur wurden jetzt die beiden mittleren Gefäße mit den Baumwollendochten ganz hinweggelassen und die Theile in die beiden äußeren Gläschen getaucht.

	I.	II.	III.	IV.
17. wie a	+ 6,5°	+ 7,5°	+ 10,5°	+ 3,5°
18. wie b	+ 2°	+ 4°	+ 4°	+ 4,5°
19. wie c	+ 2,5°	+ 2°	+ 2°	+ 1°
20. wie d	0°	0°	+ 1°	+ 1°

F. Das Präparat wie D, an den Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen applicirt.

	I.	II.	III.	IV.
21. wie a	+ 96°	+ 85°	+ 110°	+ 98°
22. wie b	− 110°	− 85°	− 115°	− 82°
23. wie c	+ 105°	+ 55°	+ 70°	+ 65°
24. wie d	− 65°	− 85°	− 100°	− 65°

G. Derselbe Frosch nach Entfernung der Haut des Kopfs, der vorderen und der hinteren Extremitäten an den Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen applicirt.

	I.	II.	III.	IV.
25. wie a	+ 68°	+ 133°	+ 178°	+ 115°
26. wie b	− 123°	− 116°	− 130°	− 90°
27. wie c	+ 45°	+ 120°	+ 81°	+ 97°
28. wie d	− 55°	− 62°	− 65°	− 107°

H. Derselbe Frosch ganz enthäutet.

	I.	II.	III.	IV.
29. wie a	+ 60°	+ 95°	+ 130°	+ 130°
30. wie b	− 107°	− 110°	− 145°	− 90°
31. wie c	+ 83°	+ 83°	+ 65°	+ 75°
32. wie d	− 60°	− 45°	− 76°	− 77°

Auch nach dem Abziehen der Haut verhalten sich die Ausschläge an dem Matteucci'schen Apparate, wie bei unverletzter Haut, d. h. die Declinationen bleiben immer sehr gering und sind größer, doch im Ganzen noch unbedeutend, wenn man selbst die beiden inneren Gefäße mit den Baumwollendochten ganz hinwegläßt. Aus diesen an dem Quecksilberapparat gewonnenen Erfahrungen ergiebt sich aber, daß bei Fröschen, welche in unverletztem Zustande eine Strömung von den Füßen nach dem Kopfe zeigen, diese Strömungsrichtung auch bisweilen constant bleibt, wenn man entweder nur die Haut der Füße, oder die der letzteren und des Mundes oder des ganzen Körpers entfernt hat. Nur daß dann, weil die contactchemische Wirkung größer wird, auch die Ausschläge sich vergrößern. Ich muß jedoch ausdrücklich bemerken, daß ich auch Frösche fand, die bei unverletzter Haut am Kopfe, nach Enthäutung der Füße, an diesen positiv waren.

Die durch Application der Muskel- und Sehnentheile, so wie der Gelenkflächen zu erzielenden Abänderungen der Declination können zunächst dahin gedeutet werden, daß sie durch veränderte chemische Wirkung entstehen. Allein offenbar kommt auch das statische Moment ins Spiel. Wir haben schon oben gezeigt, daß bei dem Eintauchen der Mundspitze oder der Vorderzehen in das eine, bei dem der Fußzehen in das andere Quecksilbergefäß bei sehr vielen unverletzten Fröschen ein von den Füßen nach dem Kopfe laufender, also centripetalen Strom entsteht, während die Strömung bei anderen Exemplaren gerade die umgekehrte ist. Meist bleibt aber die Richtung unter sonst gleichen Verhältnissen, wie sie sich zuerst angegeben, constant. Größtentheils waren die Individuen von Rana esculenta, welche centripetale Strömungen hatten, kleinere die anderen größere. In der Regel verhielten sich die Vorderzehen gleich der Mundspitze. Ich fand aber auch und zwar größere Frösche, bei welchen dieses nicht der Fall war, sondern wo Eintauchen der Mundspitze und der Fußzehen centrifugale, Eintauchen der Vorzehen und Fußzehen centripetale Declinationen erzeugte. Die letzteren Ausschläge waren meist kleiner als die ersteren. Es läßt sich daher wohl denken, daß es so constituirte Frösche gäbe, bei welchen vorzüglich Eintauchen der Vorderzehen und der Fußzehen bei möglichst gleichen Eintauchungsflächen gar keine Declination der Nadel hervorruft. Hierfür spricht schon der Umstand, daß bei vielen Fröschen, meist solchen, welche kleinere Ausschläge liefern, es Unterschiede der Declination hervorruft, ob das Thier bei dem Eintauchen in das Quecksilber an seinem Rückgrathe mehr oder minder gebogen ist. Schneiden wir nun aber bei enthäuteten Fröschen gleiche Stücke von beiden hinteren Extremitäten ab, so ändern wir sowohl das chemische als das statische Moment. Bei manchen, meist größeren Fröschen ändern sich die constanten Ausschläge nicht eher, als bis die beiden hinteren Extremitäten gänzlich fortgenommen werden. Bei anderen erfolgt dieses schon nach Entfernung der beiderseitigen Fußzehen und Fußsohlen. Als Beleg des Gesagten diene die folgende Tabelle, wo bei dem kleinern Frosche Nr. II. eine centripetale, bei dem größern Nr. I. eine centrifugale Strömung mit ausnahmsweiser Stellung der Vorderzehen vorhanden war. a bezeichnet das Eintauchen der Mundspitze in den Napf des aufsteigenden, und der Fußzehen in den des absteigenden Galvanometerdrahts; b die umgekehrte Lage; c gleicht a und d gleicht b, nur daß statt der Mundspitze die Vorderzehen gebraucht wurden. Die Frösche waren, da diese Ströme sich, wie wir bald sehen werden, durch den Tod gar nicht ändern, vorher durch Opiumtinctur vergiftet worden.

A. Unversehrter Frosch.

	I.		II.	
1. a	— 29	— 25	» »	» »
2. b	+ 28	+ 41	» »	» »
3. c	+ 19	+ 52	» »	» »
4. d	— 50	— 14	» »	» »

B. Die vordere Hälfte enthäutet.

	I.		II.	
5. a	+ 50°	+ 80°	» »	» »
6. b	— 24°	— 43°	» »	» »
7. c	+ 8°	+ 5°	» »	» »
8. d	— 19°	— 20°	» »	» »

C. Gänzlich enthäutet.

		I.		II.	
9.	a	+ 83°	+ 100°	+ 62°	+ 55°
10.	b	— 24°	— 43°	— 40°	— 35°
11.	c	+ 8°	+ 5°	+ 15°	+ 28°
12.	d	— 19°	— 20°	— 25°	— 28°

D. An den unteren Unterschenkelgelenken exarticulirt.

		I.		II.	
13.	a	+ 114°	+ 114°	+ 45°	+ 55°
14.	b	— 133°	— 135°	+ 50°	+ 42°
15.	c	+ 70°	+ 60°	+ 40°	+ 54°
16.	d	— 104°	— 84°	+ 70°	+ 30°

E. An den Kniegelenken exarticulirt.

		I.		II.	
17.	a	+ 67°	+ 60°	+ 64°	+ 93°
18.	b	— 80°	— 85°	+ 45°	+ 40°
19.	c	+ 58°	+ 54°	+ 15°	+ 42°
20.	d	— 65°	— 25°	+ 29°	+ 43°

F. In der Mitte der Oberschenkel amputirt.

		I.		II.	
21.	a	+ 113°	+ 71°	+ 34°	+ 46°
22.	b	— 130°	— 110°	+ 98°	+ 72°
23.	c	+ 134°	+ 60°	+ 26°	+ 19°
24.	d	— 125°	— 58°	+ 43°	+ 78°

Erst nach vollkommener Exarticulation der beiden Oberschenkel ging bei Nr. I. die Regularität der Ausschläge vollkommen verloren. Uebrigens erklären sich die vorherrschend positiven Ausschläge bei Nr. II. D. E. F. dadurch, daß hier, wo das statische Moment seine Störungswirkungen viel früher zeigte, bei möglichst gleicher Oberfläche mehr muskulöse und sehnigte Theile, die sich, wie wir in der Folge sehen werden, in der Regel mehr positiv verhalten, eintauchten.

Es ist oft genug wiederholt worden, daß, wenn auch die durch Thiere zu erzielenden contactelektrischen Strömungen physikalischer Natur seien, die Lebensphänomene selbst doch einen Einfluß auf dieselben ausübten. Theoretisch ließe sich der Wechsel, welcher an der Hautoberfläche durch die Einsaugung und Ausdünstung, so wie durch den Athmungsproceß stattfindet, zur Unterstützung anführen. Allein die Erfahrung zeugt gänzlich dagegen. Der lebende Frosch hat durchaus dieselbe Strömung als der frische todte, und selbst wie der, welcher nach dem Tode Stunden lang in destillirtem Wasser gelegen hat. Ich habe diese Versuche mehrfach mit durchaus gleichem Erfolge wiederholt. Hat dagegen das todte Thier im Freien gelegen und ist es an einzelnen Stellen mehr vertrocknet, so entstehen auf diesem Wege Irregularitäten der Strömung. In dem folgenden Beispiele wurde der Frosch in seinem Normalzustande bestimmt,

dann durch Opiumtinctur betäubt und so in den Zustand versetzt, daß reflexive Bewegungen nach den geringsten äußeren Reizen entstanden, in diesem Verhältnisse untersucht, unmittelbar nach dem Tode wieder geprüft und endlich, nachdem er noch 18 Stunden frei gelegen, von Neuem geprüft. In dem letztern Falle war die Mundspitze vertrocknet. Daher auch bei ihr Irregularitäten entstanden.

	Gesunder Frosch.	Während der Betäubung.	Unmittelbar nach dem Tode.	18 Stunden nach dem Tode.
1) a. Mundspitze und Fußzehen . .	— 29°	— 15°	— 32°	+ 38°
2) b. Vorderzehen und Fußzehen .	— 15°	— 45°	— 15°	— 15°
3) c. Fußzehen und Mundspitze .	+ 29°	+ 20°	+ 46°	— 30°
4) d. Fußzehen und Vorderzehen .	+ 29°	+ 29°	+ 40°	+ 48°
5) wie a.	— 46°	— 24°	— 32°	— 20°
6) wie b.	— 30°	— 39°	— 37°	+ 28°
7) wie c.	+ 39°	+ 15°	+ 36°	— 24°
8) wie d.	+ 29°	+ 23°	+ 42°	+ 25°
9) wie a.	— 45°	— 45°	— 34°	+ 25°
10) wie b.	— 22°	— 48°	— 22°	— 35°
11) wie c.	+ 20°	+ 40°	+ 22°	— 33°
12) wie d.	+ 16°	+ 50°	+ 36°	+ 36°

Bei der ganzen Versuchsreihe wurde der Frosch unverletzt gebraucht, so daß die contactelektrischen Strömungen nur durch verschiedene Hautflächen erzeugt wurden. Ich habe mich übrigens vielfach überzeugt, daß auch bei theilweiser oder gänzlicher Enthäutung durch die oben genannten Veränderungen keine Veränderung der Strömungsrichtung hervorgerufen wird, so daß nicht nur die Lebensphänomene nicht den geringsten Antheil an ihnen haben, sondern der Verlust der durch kaltes Wasser ausziehbaren Materien keine Störung erzeugt.

So viele Vortheile auch der Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen gewährt, so hat er doch den Nachtheil, daß er bei vielen, besonders kleineren und nahe liegenden Hautflächen nicht gebraucht werden kann. Man muß daher zu festen Metallleitern recurriren. Nach vielen Versuchen fand ich es am zweckmäßigsten, die Kupfernäpfchen des Galvanometers mit ziemlich gesättigtem Zinkamalgam zu füllen und als Leiter gleich lange, zweckmäßig gebogene Zinkbleche, die vorher auf der chemischen Wage genau tarirt, dann mit Eiweiß bestrichen, hierauf an zwei entsprechenden Enden abgefeilt und von Neuem tarirt worden sind, zu gebrauchen. Sind die Leiter gut, so müssen sie, gleichzeitig in destillirtes Wasser getaucht, gar keine oder höchstens eine Abweichung von 1 — 4°, die mit dem Wechsel der Zinkbleche bleibt, erzeugen. Auch ähnlich behandelte übersilberte Kupferdrähte können zu dem gleichen Zwecke brauchbar gemacht werden. Aus den so angestellten Versuchen ergeben sich dann folgende Gesetze:

1) Unter sonst gleichen Verhältnissen ist der Ausschlag um so geringer, je kleiner die Hautstelle ist, in welcher die beiden Pole der metallischen Leiter von einander abstehen. In welchem Verhältniß und ob überhaupt in gleichen entsprechenden Zahlen die Abweichungen wachsen, gelang mir nicht

zu ermitteln. So viel scheint aber aus den angestellten Versuchsweisen zu erhellen, daß die Abweichung weder in gleichem Verhältnisse, noch in dem Verhältnisse der Quadratzahlen der Distanzen zunimmt.

2) Genaue Application der beiden Leitungsdrähte an die entsprechenden Hautstellen zweier symmetrischer Körpertheile, z. B. derselben Punkte der Augendeckel, der Ellenbogen, der Kniee, der entsprechenden Zehen rufen entweder gar keine oder nur kleine Abweichungen hervor. Das Gesetz realisirt sich auch, wenn man auf der Mittellinie des Rückens oder des Bauches senkrecht stehende Querlinien zieht und an diesen von beiden Seiten gleiche Distanzen entnimmt. Haben mich nicht Nebenverhältnisse getäuscht, so scheint bei Berührung beider entsprechenden Punkte beider Oberschenkel die Abweichung sehr gering bis 0°, der Außenseite des einen und der Innenseite des andern Schenkels größer, und der Außenseiten und der Mitte des Querdurchmessers am größten zu sein. Doch müssen alle diese Versuche mit sehr vieler Umsicht angestellt werden, damit nicht durch Ungleichheit und Ungleichzeitigkeit des Aufsetzens der Leiter verwirrende Resultate entstehen. Eine andere Veranlassung zu Irrthümern erzeugt sich aus der Ungleichheit der Oberfläche selbst. Da der elektrische Strom auf kürzestem Wege längs der Oberfläche des Thieres hingeleitet wird, so wird der Versuch am reinsten ausfallen, wenn diese Oberfläche möglichst rein ist. Schneidet man daher ein Stück Haut aus, so wird bei nicht zu feuchter Oberfläche, wie es scheint, durch die Heterogeneität der freiliegenden Muskelsubstanz die Abweichung größer. Diese gleicht sich aber wieder mehr aus, wenn sich eine Wasserschicht auf der Oberfläche befindet.

3) Berührung entsprechender Punkte der Rücken- und Bauchfläche rufen fast immer Abweichungen hervor. Bisweilen stellen sich hier auch kleine Declinationen ein. Vergeblich suchte ich nach einem constanten Verhältniß zwischen Rücken- und Bauchfläche, obgleich ich mit kurzen und dünnen, langen und starken Platindrähten, Platinblechen, übersilberten reinen einfachen und überflochtenen Kupferdrähten, solchen, die mit Quecksilberamalgam überzogen waren, Messingdrähten, Stahldrähten und Zinkblechen operirte. Doch schien sich der größere Theil der Ausschläge in einer freilich nicht sehr überwiegenden Majorität so zu stellen, daß immer die Nadel nach der Bauchfläche sich hinlenkte.

4) In Betreff der Längendimension ließe sich erwarten, daß an einer Stelle ein Indifferenzpunkt existire. Bei größeren Fröschen fällt die Mitte der Länge in das hintere Drittheil des Oberschenkels. Man überzeugt sich aber leicht, daß in gleichen Distanzen von diesem Punkte sowohl, als von der Mitte der Länge des Rumpfes die Ausschläge nach Maßgabe der größeren Entfernung auch größer werden. Bei manchen Fröschen schien mir ein solcher Indifferenzpunkt in der Mitte der Länge des Schwanzbeines zu liegen. Dieses Verhältniß fehlte jedoch bei anderen durchaus.

5) Alle genannten Gesetze kehren in gleichem Maaße bei todten, nur nicht faulenden oder gänzlich oder theilweise vertrockneten, Fröschen wieder.

Bei der Kleinheit der meisten Froschtheile unterliegt es sehr vielen Schwierigkeiten, das contactelektrische Verhalten derselben zu bestimmen. Am zweckmäßigsten erwies sich noch, die zu prüfenden Theile auf einer chemischen Wage genau zu tariren, mit möglichst gleichen Oberflächen auf die Quecksilberoberflächen des größern Apparates zu legen und die Kette durch Platindraht zu schließen. Aus solchen Versuchen ergab sich, daß sich in der Majorität der Fälle die Muskelsubstanz im Verhältniß zur Haut positiv ver-

hielt, es mochten beide Substanzen von verschiedenen oder gleichen Theilen, von lebenden, enthaupteten und noch reizbaren, kurze Zeit vorher getödteten oder schon 24 Stunden todten Fröschen entnommen worden sein.

Bis jetzt wurde nur von den contactelektrischen Verhältnissen Eines Frosches gehandelt. Combination zweier Frösche der Art führt zu sehr unsicheren Ergebnissen und bisweilen zu Resultaten, welche der Erwartung entgegengesetzt sind. So z. B. gaben zwei größere Frösche, welche constante centripetale Strömungen der allgemeinen Regel nach darboten, so bald sie Kopf an Kopf und Füße an Füße zusammengebunden wurden, sehr unbedeutende constante Ausschläge, während bei umgekehrter Lagerung des einen gegen den andern die Declinationen sich vergrößerten.

Bei den Vögeln, den Säugethieren und dem Menschen bildet die trockene und selbst ein wenig befeuchtete Haut einen Isolator, so daß durch unmittelbare Application der Leitung an die trockenen Hautstellen die Kette noch nicht geschlossen wird und die Declinationen ausbleiben. Unterliegt aber die Untersuchung bei Fröschen schon vielen Schwierigkeiten, so häufen sich diese noch bei den Vögeln und den Säugethieren. Wegen der nicht leitenden Haut und der Größe der Individuen erweisen sich daher die meisten Versuche als inconstant. Bei Kaninchen schien mir, wenn ich die Hautstellen durchfeuchtete und so vorzüglich mittelst der Unterhautgebilde die Leitung herstellte, in der Majorität der Fälle der Kopf in Verhältniß zu den Fußzehen positiv zu sein. Auch nach der Abhäutung des Thieres blieb die Abweichung in derselben Richtung. Eben so scheint auch das seitliche Symmetriegesetz wie bei den Fröschen einzutreten. Wenigstens ergaben sich, wenn man das Thier vollständig enthäutet hatte, bei Application beider Füße mit möglichst gleichen Oberflächen sehr geringe Declinationen. Dagegen erschienen sie bei Eintauchung von beiden Fußgelenken oder beiden Kniegelenken größer. Auch die mit den größeren Distanzen sich vergrößernden Ausschläge scheinen hier meistens wiederzukehren; nur müssen die Theile wohl durchfeuchtet sein. Ist dieses nicht der Fall, so ergeben bisweilen selbst größere Entfernungen nur kleinere Abweichungen. Sämmtliche genannten Resultate wurden am Quecksilberapparat mit den größeren Näpfen gewonnen, da Leitung mit festen Metallen hier noch weniger brauchbar als bei Fröschen ist.

Natürlicher Weise müssen auch, wenn die menschliche Haut durchfeuchtet wird, dadurch, daß man so vermittelst der subcutanen und vorzüglich der subepidermidalen Gebilde die Leitung vollständig macht, Abweichungen erfolgen. Auch hier ist aber nur der Apparat mit den größeren Quecksilbernäpfen zu Rathe ziehen. Bei dem Eintauchen der mit destillirtem Wasser durchfeuchteten Fingerspitzen ergeben sich nur kleine Ausschläge. Etwas größer werden sie oft, sobald man entferntere Hautstellen applicirt. So erhielt man z. B. bei dem Eintauchen der Spitzen beider Zeigefinger — 4°, bei dem der Nasenspitze und des rechten Zeigefingers + 12° und bei dem der erstern und des linken Zeigefingers — 6°. Auffallend ist es, daß sich bei einzelnen Menschen bei dem Eintauchen der Fingerspitzen beider Hände die Nadel constanter nach der einen oder andern Seite hinwendet. Unter fünfzehn solchen Personen männlichen Geschlechtes ging sie bei sieben nach links, bei acht nach rechts.

Nach den Beobachtungen von Pfaff und Ahrends sollten gesunde Männer an dem Elektrometer größtentheils positive, Frauen häufiger negative Elektricität angeben. Bei Rheumatismus dagegen sollten alle diese Elektricitätserscheinungen verschwinden. Dieser zwischen beiden Geschlech-

tern angeblich stattfindende Unterschied unterliegt sehr gerechtem Zweifel. In der That fand auch H. Nasse bei Männern, wie bei Frauen, bei gesunden, wie bei kranken Menschen, positive Hautelektricität. Heidenreich will wieder in neuester Zeit beobachtet haben, daß bei verschiedenen Krankheitsprocessen die verschiedene Qualität der Hautsecrete und die wahrnehmbaren Elektricitätsverhältnisse in genauem Zusammenhange stehen. Bei saueren Absonderungen soll positive, bei basischen negative Elektricität frei werden. So die erstere bei sauerem Schweiße, Masern und hektischem Fieber, so wie bei dem Anfange von acutem Rheumatismus; die letztere bei Scharlach, Influenza und Wechselfieber. Bei Versuchen, welche ich mittelst eines sehr sensiblen Bohnenberger'schen Elektrometers anstellte, erschien bei Nichtisolation keine oder keine constante Abweichung. Trat man dagegen auf den Isolirschemmel, so zeigte sich bei drei Männern fast constant zuerst eine geringe positive, dann gar keine und oft zuletzt eine geringe negative Abweichung.

Die contactelektrischen Verhältnisse der einzelnen Gewebtheile sind schwer zu bestimmen, weil bei ihnen ebenfalls ihre Contactelektricität so gering ist, daß sie ebenfalls durch Außenverhältnisse ausgeglichen oder gar oft überwogen wird. Daß die von Bellingeri [1]) befolgte Experimentirungsmethode auf unrichtigen Principien beruht, hat schon Sterneberg [2]) mit Recht behauptet. Die Versuche des Letztern [3]) fielen in dieser Beziehung sämmtlich negativ aus. Um die Flüssigkeiten zu prüfen, bediente ich mich der Methode, daß ich zwei Gläschen mit destillirtem Wasser, das dritte mit der thierischen Flüssigkeit füllte. Wurden die beiden Wassergläschen durch tarirte Kupferdrähte mit den Quecksilbernäpfchen des Galvanometers und unter einander durch Kupferblech verbunden, so entstand eine constante Abweichung von — 4°. Wurde das eine Wassergläschen durch ein mit ganz frischem Arterienblute des Kaninchens gefülltes Glas ersetzt, so declinirte die Nadel 4 — 5 Mal stärker und bei allem Wechsel der Pole durchaus constant nach dem Gefäße mit destillirtem Wasser hin. Da aber hier das Resultat wegen des Verhaltens des Kupfers zu der thierischen Flüssigkeit und dem Wasser ein complicirtes sein mußte, so wurde in einer andern Versuchsreihe sowohl die Leitung von den Quecksilbernäpfchen zu den Glasgefäßen, als die Schließung der beiden letzteren untereinander durch befeuchtetes Fließpapier bewirkt. Bei bloßem destillirten Wasser an beiden Polen resultirte nur eine Declination von — 2° bis — 2,5°. Arterienblut des Kaninchens, an die Stelle des einen Wassergefäßes gesetzt, verstärkte die Abweichung um das 3 — 4fache, Urin desselben Thiers um das Zweifache bis gar nicht. Immer erschienen jetzt sowohl das Arterienblut, als der Harn in Verhältniß zu dem Wasser positiv, der Urin im Verhältniß zum Arterienblut negativ.

Die einzige sichere Methode, die feinen contactelektrischen Verhältnisse der festen thierischen Theile zu bestimmen, besteht darin, daß man dieselben auf einer chemischen Wage genau tarirt, und mit möglichst gleichen Oberflächen auf die Oberflächen des Quecksilbers des Apparates mit den größeren Näpfen legt. Die Ränder derselben ragen nach innen über das Quecksilber hinaus und werden so eingerichtet, daß sie möglichst gleiche Flächen einander zukeh-

---

[1]) Memorie della reale Accademia delle scienze di Torino. Vol. XXXI. 295 — 318.
[2]) Experimenta quaedam ad cognoscendam vim electricam nervorum atque sanguinis facta. Bonnae 1835. 4. p. 13.
[3]) l. c. p. 14. 15.

ren. Ist dieses der Fall, so bringt man sie durch Verschiebung der Kupferbügel des Galvanometers in gegenseitige Berührung. Schon bei dem Frosche hatte sich auf diesem Wege ergeben, daß die Muskelsubstanz zur Haut positiv sei und daß sich dieses Verhältniß durch den Tod und selbst durch stundenlanges Liegen in destillirtem Wasser durchaus nicht änderte. Um nun aber nichts desto weniger für den Menschen so sichere Data, als möglich, zu gewinnen, experimentirte ich nicht an einer Leiche, sondern an einem eine Stunde vorher wegen Caries ossium tarsi amputirten Unterschenkel eines sonst wohl gebaueten 15jährigen Knaben. Es ergab sich

Positiv.	Negativ.
1) Muskel (Gastrocnemius) . . .	Innere Fläche der Haut.
2) Muskel	Fett.
3) Muskel	N. tibialis.
4) Knochen	Muskel.
5) Knochen	N. tibialis.
6) Achillessehne	Muskel.
7) Achillessehne	Arteria tibialis.
8) Arteria tibialis	Muskel.
9) Arteria tibialis	Innere Fläche der Haut.

Da nun das subcutane Zellgewebe, das Fett und die Nerven in Verhältniß zu den Muskeln, die Muskeln und Nerven in Verhältniß zu den Knochen, die Nerven, Muskeln und Arterien in Verhältniß zu den Sehnen, das subcutane Zellgewebe und die Muskeln in Verhältniß zu den Arterienhäuten die weniger dichten Substanzen sind, da sich überdies die dichteren thierischen Flüssigkeiten zu dem destillirten Wasser positiv verhalten, so scheint der Dichtigkeitsgrad ein sehr wesentliches, wo nicht das einzige Bestimmungsmoment für die positive Natur eines thierischen Theiles zu sein. Die dichtesten Körper dürften auch dann die positive Bahn eines von Außen her eintretenden Elektricitätsstromes leiten. Ist dieses richtig, so erklärt sich hieraus die bekannte Erfahrung, daß bei Leuten, welche vom Blitze getroffen, nicht aber dadurch getödtet worden sind, die Brandblasen längs der Mitte des Rückens, längs der Dornfortsätze oder der Wirbel überhaupt hinabgehen und am Schienbein und anderen großen Knochen wieder kehren. Meist erscheint hier die Verbrennung nur in der Haut. Allein die in der Nähe liegenden Knochenmassen dürften an ihr die Bahn bestimmen und so für die übrigen Gewebe des Körpers gleichsam als Blitzableiter wirken. Wenn dasselbe weniger am Kopfe der Fall ist, wenn sogar meist die Kopfhaut gänzlich verschont bleibt, so dürfte dieses der isolirenden Wirkung der Haare vorzugsweise zuzuschreiben sein.

2) Thermoelektrische Strömungen. Während bei den contactelektrischen Strömungen die Schließung der Galvanometerkette durch den zu prüfenden thierischen Körper oder Theil desselben unmittelbar erfolgt, müssen, um hier exacte Bestimmungen thermoelektrischer Strömungen zu gewinnen, geschlossene metallische Ketten selbst angewandt werden. Zu diesem Zwecke verfertigt man am besten sogenannte thermoelektrische Nadelspitzen mit endständiger Löthung, d. h. zwei Drähte von Platin oder von Kupfer werden an ihren beiden entsprechenden Enden mit einem Eisendrahte oder Zinkstücke so zusammengelöthet, daß jederseits eine Spitze entsteht und daß jede dieser Spitzen gleichviel von beiden Metallen enthält. Die beiden

dann noch freien Enden der Platin- oder Kupferdrähte werden in die Quecksilbernäpfchen des Galvanometers getaucht. Die Kette ist dann geschlossen. Wird die eine Spitze höher temperirt als die andere, so weicht die Magnetnadel um eine der Temperaturdifferenz entsprechende Größe ab. Dadurch wird es möglich, durch Eintauchen der Spitzen in thierische Theile die Wärmeunterschiede derselben von anderen Theilen und heterogenen Körpern zu bestimmen. Ueber die so erhaltenen Resultate siehe den Artikel über die thierische Wärme.

3) Vital-elektrische Ströme. Diese werden durch theoretische Betrachtungen gewissermaßen gefodert, während sie in der Erfahrung bei dem actuellen Stande der Wissenschaft und der zu Gebote stehenden Hülfsmittel nicht nachgewiesen werden konnten. Das theoretische Raisonnement läßt sich in Folgendem kurz zusammenfassen. 1) Da der thierische Körper aus einer Menge theils permanent, theils nach den verschiedenen Lebensthätigkeiten wechselnder, chemisch verschiedener Substanzen besteht, so müssen diese bei ihrem gegenseitigen Contacte elektrochemische Spannungen und Strömungen hervorrufen. Da nun durch die Variabilität des Bluts und der Secretionen und vielleicht durch die Processe der perpetuellen Ernährung die chemische Beschaffenheit der den Organismus constituirenden Substanzen wechselt, so müssen auch die ursprünglich physikalisch bedingten organo-elektrischen Strömungen während des Lebens auf eine entsprechende Weise sich umändern. 2) Da das Nervenagens der motorischen Nerven für centrifugale Elektricitätsströmungen so äußerst empfindlich ist, daß geringe Ströme der Elektricität auch sogleich Contractionen hervorrufen, und man daher die Nerven des noch reizbaren Thiers für die feinsten Elektrometer angesehen hat; da ferner die elektrischen Ströme nur in den Richtungen der Strömungen des Nervenfluidums wirken, indem in einem gemischten Nerven centripetale elektrische Strömung bei dem Einströmen Schmerzensempfindung, centrifugale dagegen Bewegung erzeugte; da ferner die peripherischen Nervenprimitivfasern sich in Betreff der Leitung des Nervenagens so verhalten, wie mit Seide umsponnene und gefirnißte Kupferdrähte für das elektrische Agens: so läßt sich entweder annehmen, daß sich das Nervenagens zu dem elektrischen, wie Wärme und Magnetismus zu Elektricität verhalte, d. h., daß das Eine das Andere hervorrufe, oder daß in dem Nervenagens Elektricität thätig sei. In beiden Fällen müßten neuroelektrische Strömungen zum Vorschein kommen. Der erfahrungsmäßigen Prüfung beider Punkte aber stellt sich die Durchfeuchtung der Organe durch Flüssigkeit mit unüberwindlicher Tenacität entgegen, da eine Entfernung der Feuchtigkeit ohne Aufhebung der thierischen Functionen nicht möglich ist. Ob jedoch dieser Uebelstand, wie viele Physiker glauben, jede Wahrnehmung organisch-elektrischer und neuroelektrischer Strömungen immer verhindern werden, ist noch die Frage. Wenigstens in Betreff der neuroelektrischen Strömungen läßt sich ein Wahrscheinlichkeitsbeweis angeben, daß die Feuchtigkeit kein absolutes Hinderniß bilden dürfte. Ein Zinkkupferplattenpärchen, z. B. von nur etwas mehr als einer Quadratlinie Durchmesser, gab, wenn es, frei liegend, durch zwei gleich tarirte, mit dem Galvanometer in Verbindung stehende Kupferdrähte geschlossen wurde, ungefähr 3½ Kreisumdrehungen der Magnetnadel, während bei unmittelbarer Schließung durch die Kupferbleche des Galvanometers 4 — 5 Umdrehungen resultirten. Wurde das kleine Plattenpaar mit Wasser überall bedeckt, so resultirten bei Schließung durch die eben

genannten Kupferdrähte im Mittel 3¹/₁₀ Umdrehungen. Wurde es in ein 3'' im Durchmesser haltendes Gefäß, in welchem destillirtes Wasser zu 1½'' Höhe sich befand, gethan und dann auf gleiche Art geschlossen, so ergaben sich ungefähr 2½ Umdrehungen. Endlich erhielt man bei gleicher Schließung nur im Mittel 160° Declination, wenn das kleine Plattenpaar in einem länglich-runden, 10'' langen und 8'' breiten Porcellangefäße, in welchem sich wieder eine 1½'' hohe Wassersäule befand, lag. Die verhältnißmäßig so sehr bedeutende Wassermenge hatte also im Verhältniß zur größten Abweichung bei der Schließung durch die Kupferbügel des Galvanometers nur eine höchstens zwölffache Schwächung hervorgebracht. Obgleich nun die Wassermenge in den thierischen Theilen verhältnißmäßig lange nicht so groß ist, so müßten, wenn die durch die Befeuchtung der Organe resultirende Schwächung sogar 50—100 betrüge, an sensiblen Galvanometern noch neuroelektrische Strömungen wahrgenommen werden. Es scheint hieraus zu folgen, daß entweder gar keine solche existiren, oder daß andere Hindernisse existiren müssen, daß z. B. keine größere Strömung in einer Richtung stattfindet, sondern daß die entstehenden Minimaspannungen sogleich durch die Feuchtigkeit allseitig verbreitet und daher in ihren Tensionswirkungen aufgehoben würden. Dem sei nun, wie ihm wolle, so müssen jedenfalls mit allen zur Zeit möglichen Hülfsmitteln die Fragen der organoelektrischen und der neuroelektrischen Strömungen erörtert und die früheren Versuche kritisch geprüft werden.

a. Organoelektrische Strömungen in dem lebenden Körper. Schon oben bei Gelegenheit der contactelektrischen Strömungen haben wir die hierher gehörenden Hauptpunkte erörtert. Wir haben gesehen, daß durch die Spannung zwischen dem Quecksilber oder festen metallischen oder selbst anderen und nur durchfeuchteten Leitern und homogenen oder heterogenen thierischen Theilen kleinere oder größere elektrische Strömungen hervorgerufen werden. Es frägt sich nun, ob z. B. die verschiedenen Ausdünstungsverhältnisse durch die Variation ihrer Mengen und ihrer Qualität im Leben so influiren, daß durch sie Abänderungen der Strömungsintensität und der Strömungsrichtung hervorgerufen werden. Wir haben aber oben gesehen, daß die Strömungsrichtungen wenigstens, und, so weit sich dieses mit Wahrscheinlichkeit feststellen läßt, selbst die Declinationsgrößen durch den Tod und sogar durch mehrstündiges Liegen in destillirtem Wasser nicht geändert werden. Es bleibt daher nach unserm gegenwärtigen Wissen nur die Annahme übrig, daß die Differenzen der Hautausdünstung in den verschiedenen Lebenszuständen und nach dem Tode auf die Fähigkeit der Haut, contactelektrische Strömungen zu erregen und zu leiten, nicht influenziren. Da es, wie wir gesehen haben, weniger die chemische Differenz, als der Dichtigkeitsgrad zu sein scheint, welcher einem thierischen Theile in Verhältniß zu einem andern einen elektropositiven Charakter aufdrückt, so ließe sich höchstens erwarten, daß nur solche Secretionen, welche zu verschiedenen Zeiten ihren chemischen Charakter bedeutend ändern, auch variable elektrochemische Strömungsintensitäten oder Strömungsspannungen erzeugen werden. Allein auch dieses scheint selbst nicht der Fall zu sein. Wenigstens fand Matteucci [1]) dieselbe Abweichung, wenn die Drähte in Leber und Magen eines Kaninchens eingebracht wurden, die Säure des Magensaftes mochte vorhanden oder neutralisirt worden sein.

---

[1]) A. a. O. p. 86.

Schönbein[1]) hatte eine eigenthümliche Ansicht über diesen Gegenstand aufgestellt. Nimmt man an, daß die Organoelektricität der Thiere in voltaischer Form auftrete, und daß die Ströme, ähnlich den nach Ampère in Stahl und Eisen befindlichen Molecularströmen, nach allen Richtungen hin verlaufen, so können natürlich weder Tensionserscheinungen noch elektrodynamische Producte eines einzigen Stromes oder gleichgerichteter Ströme hervortreten. Es müßten dann lebende Thiere, unter den Einfluß eines Magneten gestellt, selbst zu Magneten werden. Ihre Molecularströme müßten dann gleich gerichtet werden. Sie müßten die Magnetnadel eben so wie Eisen afficiren. Bis jetzt gelang es aber nicht, durch magnetische Einflüsse ein Thier magnetisch zu machen. Die Mesmer'sche Hypothese, daß ein in dem magnetischen Meridian liegender Mensch selbst zum Magneten werde, hat sich nicht bestätigt. Die Anwendung der Magnete zu heilkünstlerischem Zweck leistet, wie jeder unbefangene Forscher deutlich sieht, Nichts. Auch alle Versuche, die ich in dieser Beziehung an Fröschen anstellte, fielen negativ aus. Berührt man den Kopf eines Frosches mit einem Pole eines Magneten, während ein Fuß oder beide Füße in den Quecksilbernäpfen des Galvanometers tauchen, so entsteht, außer den nothwendigen contactelektrischen Wirkungen keine weitere Bewegung der Nadel des Galvanometers. Auch eine frei herabhängende Magnetnadel wird dann nicht afficirt, vorausgesetzt, daß die Kraft des Magneten nicht so stark ist, daß er in der Distanz der Länge des Frosches auf die Nadel einwirkt. Dann erfolgen aber natürlicher Weise dieselben Effekte, wenn auch der Frosch gänzlich entfernt ist. Da die Einrichtung der magnetoelektrischen Drehmaschinen darauf beruht, daß sehr rasch hinter einander der Anker von dem Magneten losgerissen und wieder an denselben durch geeignete Lage und magnetische Attraction befestigt wird, so bewegte ich nach Beruhigung der Magnetnadel in ähnlicher Weise schwächere und stärkere Magnete an der Haut eines Frosches, dessen zusammengebundene Füße und zusammengeschnürte vordere Extremitäten in die Quecksilbernäpfe des Galvanometers tauchten. Auch hier war kein Resultat zu erzielen. Eine Zeit lang glaubte ich durch ganz schwache Magnete zu einem affirmativen Ergebnisse gelangt zu sein. Wenn ich nämlich einen kleinen Anker eines kleinen Magneten magnetisirte und ihn an die Mundspitze eines gebundenen Frosches hielt, dessen Fußzehen in die beiden Quecksilbernäpfe tauchten, so entstand eine entsprechende Abweichung von 1 — 2°, während, wenn ich das Magnetstückchen frei nach rechts oder nach links von dem Frosche hielt, diese geringe Declination ausblieb. Als wahren Grund dieses Scheinresultates glaubte ich aber später die größere Distanz des Magnetstückchens von der Nadel zu erkennen. Wurde der Frosch ganz hinweggenommen, und an den Ort, wo die Mundspitze gelegen hatte, das Magnetstückchen gehalten, so entstand auch eine geringe Declination.

Aus allem ergiebt sich, daß die gegenwärtigen physikalischen Hülfsmittel es nicht gestatten, eigene, von den Lebenserscheinungen abhängige elektrische Tensionserscheinungen und Strömungen nachzuweisen, und daß an den contactelektrischen Erscheinungen der thierischen Körper selbst das chemische Moment weniger als man bisher glaubte, das Bestimmungsmittel ausmache, daß vielmehr wahrscheinlich der Dichtigkeitsgrad eine sehr wesentliche Rolle hierbei spiele.

---

[1]) Beobachtungen über die elektrischen Wirkungen des Zitteraals. Basel 1841. S. 37 — 38.

b) Neuroelektrische Strömungen. Das Erscheinen neuroelektrischer Strömungen kann man an zwei Orte versetzen. 1) Läßt sich denken, daß das aus den Nerven in die Muskeln bei der Contraction der letzteren ausströmende Agens Elektricität selbst sei, oder daß es wenigstens die Fähigkeit habe, elektrische Strömungen zu erzeugen. Die Tensionsphänomene, welche so die Begleiter der Muskelreizbarkeit sein müßten, wollen wir mit dem Namen der elektrischen Neuro-Muscularströmungen belegen. Oder 2) das in den motorischen Nerven centrifugal, in den sensiblen und den sensuellen Nervenprimitivfasern centripetal strömende Agens ist entweder selbst Elektricität, oder hat die Fähigkeit, bei seiner Strömung auch elektrische Strömungen hervorzurufen. Diese Strömungen müßten dann reine neuroelektrische Strömungen genannt werden.

α. Neuromuskularströmungen. αα. Die einfachste Art, um diese, wenn sie existirten, zu finden, müßte die sein, daß man einen reizbaren Muskel durch zwei Metalldrähte oder auf andere Weise mit dem Galvanometer in schließende Verbindung bringt, hierauf, bis die Magnetnadel nicht mehr schwankt, abwartet und dann mittelst Glaspincetten den motorischen Nerven reizt. Am geeignetsten ist hierzu der Musculus gastrocnemius nach Galvani's Methode präparirter Froschschenkel. Allein erzielt man hier nie wahre und constante Abweichungen, man mag den Muskel isoliren wie man wolle, man mag die leitende Verbindung durch befeuchtetes Fließpapier, zwei Platindrähte, zwei Platinbleche, Kupferdrähte, Messingdrähte u. dergl. herstellen. Dasselbe negative Resultat erhält man, wenn man die beiden, z. B. aus Eisen und Kupfer zusammengelötheten Spitzen der zu thermoelektrischen Versuchen bestimmten Drähte anwendet oder einen Kupferdraht mit seiner einfachen Mittelspitze einsticht, während seine Gabelschenkel in die Näpfe des Galvanometers tauchen. Eben so negativ bleiben die Resultate, wenn man mit dem Galvanometer zwei Metalldrähte in Verbindung bringt, und das freie Ende des einen Drahtes in den M. gastrocnemius einsticht. Von zwei anderen Drähten, welche mit einer kleinen galvanischen Säule in Verbindung stehen, wird der eine Metalldraht mit dem zweiten Metalldrahte des Galvanometers, der andere ebenfalls mit dem M. gastrocnemius in Contact gebracht. Die Magnetnadel lenkt natürlich sehr bedeutend ab. Hat sie sich beruhigt, so erregt man durch Druck des N. ischiadicus Contractionen. Durch diese entstehen aber keine Declinationen. Auf die hier an dem Apparate mit den größeren Quecksilbernäpfen zu erzielenden Ergebnisse werden wir bald zurückkommen.

ββ. Schon weniger rationell ist es, die beiden Poldrähte in den Nerven und den Muskel zu stechen und durch Druck des Nerven oberhalb der Einstichsstelle Contractionen hervorzurufen. Auch hier sind die Ergebnisse durchaus negativ.

γγ. Eine noch weniger gerechtfertigte Methode besteht darin, die Pole in das Gehirn und einen Körpermuskel einzustechen und nun Contractionen zu erzeugen, weil man hier mit ganz unbekannten Werthen rechnet. Die neueren Versuche von Pacinotti und Puccinotti [1]) beruhen auf diesem schwankenden Boden. Die Verfasser sehen es als wesentlich an, daß der Leiter zugleich derjenige Theil sei, welcher in Gehirn und Muskel eingestochen werde. Sie bedienen sich daher als solcher der Platinbleche und erhalten, wie

---

[1]) Atti della prima riunione degli scienzati italiani; tenuta in Pisa nell' Ottobre del 1839. Pisa. 4. p. 258 – 260.

sich natürlich erwarten läßt, Declinationen von 15 — 60°, die nach ihnen immer in einer constanten Richtung von dem Kopfe nach den Muskeln erfolgen und sich von den contactelektrischen und thermoelektrischen dadurch unterscheiden sollen, daß sie mit Erregung des Thieres steigen, mit Blutverlust desselben sinken. Aehnliche Angaben lieferten Zantedeschi und Fario [1]), welche Leiter von Eisen- oder Silberdrähten gebrauchten, und nur Deviationen von 3 — 15° erhielten. Nach ihnen soll bei warmblütigen Thieren eine constante Hautströmung von den Extremitäten nach der Cerebrospinalaxe existiren, während ein innerer Strom umgekehrt verlaufe. Auch diese Tensionserscheinungen sollen mit Abnahme des Lebens und bei geringem Schmerze sich vermindern, bei willkürlichen und convulsivischen Bewegungen sich verstärken, bei heftigem Schmerze und nach dem Tode in die entgegengesetzte Richtung umschlagen. Gegen diese Angaben haben sich mit Recht die von der Turiner Naturforscher-Versammlung niedergesetzte Commission (Orioli, Majochi, Belli, Buffalini, G. Frank und Arcangioli), sowie Beruti im Verein mit Botto, Girola, Bellingeri, Demarchi und Malinverni [2]) erklärt. Nach dem, was wir schon oben in Betreff der contactelektrischen Verhältnisse dargestellt haben, werden jene Ansichten ebenfalls widerlegt. Wir haben gesehen, daß die durch Thiere zu erhaltenden elektrischen Strömungen durch den Tod weder in der Richtung noch wahrscheinlich in der Größe geändert werden, und daß die Constanz der Richtung selbst bei einer Species nach dem statischen Momente und anderen Verhältnissen eines und desselben Thieres variirte. Dazu kommt noch, daß die Application fester metallischer Leiter in jeder Beziehung so unsicher ist, daß auf solche Versuche, wenn sie sich nicht absolut beständig erweisen, gar nichts zu geben ist. Die Erfahrung von Folchi, daß Einstechen der Drähte in die graue und weiße Substanz des Rückenmarkes eine Deviation von 6° nach Westen erzeugen soll, ist einerseits nicht allgemein wahr, und beweis't andererseits Nichts.

δδ. Matteucci [3]) erzielt mittelst seines oben erwähnten Apparats mit den vier Salzgefäßen während der Muskelcontraction Abweichungen der Nadel des Galvanometers. Ich habe diese Versuche an demselben Apparate mit stärkeren und schwächeren Salzlösungen wiederholt und oft auch durch die Contraction mehr oder minder bedeutende Declinationen, bisweilen dagegen schwache oder gar keine erhalten. Was schon oben bei den contactelektrischen Verhältnissen gegen den Matteucci'schen Apparat bemerkt worden, wäre auch hier zu wiederholen. Zweckmäßiger erweis't sich wieder zu solchen Versuchen der Apparat mit den größeren Quecksilbernäpfen. Man präparirt einen noch reizbaren Froschschenkel so, daß alle Theile des Oberschenkels, mit Ausnahme des N. ischiadicus hinweggenommen werden, während Unterschenkel und Fuß entweder unverletzt bleiben oder nur abgehäutet sind. Nun legt man den Ueberrest des Oberschenkels oder den Unterschenkel auf die Quecksilberoberfläche des einen, den Fuß auf die des andern Gefäßes und läßt den N. ischiadicus frei herabhängen. Im Momente des Auflegens entsteht eine bedeutende Abweichung. Man wartet, bis die Nadel zur Ruhe gekommen und erzeugt hierauf dadurch Contractionen, daß man den N. ischiadicus mittelst einer Glas-

---

1) Bulletin de l'Académie royale de Bruxelles. 1840. II. p. 43 — 50.
2) Esperienze sulla esistenza delle correnti elettro-fisiologiche negli animali a sangue caldo. Torino. 1840. 8.
3) A. a. O. p. 75 — 85.

spitzenpincette drückt. Im Momente der Contraction entsteht eine neue Abweichung, die sich in günstigen Experimenten bis zu 60 — 100° steigern kann. Schon der Umstand, daß oft die Declination centripetal ist, zeugt dagegen, daß sie von neuroelektrischen Strömungen herrühren. Daß es aber bloß contactelektrische Verhältnisse seien, lehrt der Umstand, daß man eine ähnliche und selbst stärkere Abweichung erzielt, wenn man nur das Präparat mechanisch rüttelt, weil dann andere Theile des Quecksilbers (oder des Salzwassers) mit den thierischen Theilen in Berührung kommen, und so neue Spannungsverhältnisse entstehen. Alle Abänderungen des Versuches lassen sich auf dieses Princip reduciren. So giebt z. B. Eintauchen der Vorderfüße eines enthaupteten Frosches in das eine, der Hinterfüße in das andere Gefäß, sobald man durch Reizung des Rückenmarkes mittelst einer Glasspitze Zuckungen hervorruft, aus denselben Gründen starke Abweichungen.

εε. Der bekannte von Marianini zuerst beobachtete und leicht zu bestätigende Umstand, daß centrifugale galvanische Ströme, welche in den Körper eines Thieres oder eines Menschen eingeleitet werden, tetanische Krämpfe erzeugen, oder dieselben, wenn sie schon da sind, verstärken, daß dagegen centripetale Strömungen dieselben aufheben, muß natürlich bei Behandlung der neuromuskularen Strömungen die Aufmerksamkeit auf die tetanischen Zustände und die dieselben hervorrufenden Gifte leiten. Matteucci[1]) fand auch, daß der von ihm als eigenthümlich angesehene galvanometrische Strom während des Tetanus mangelte. Ich kann zwar nach meinen, am Quecksilberapparate angestellten Versuchen das Ausbleiben der Nadelabweichung während des Starrkrampfs nicht bestätigen, fand aber auch eine verhältnißmäßig bedeutend geringere Abweichung, als sich sonst erwarten ließe. Ich vergiftete Frösche, indem ich ihnen Strychnin in die Mundhöhle brachte. Sobald die tetanischen Krämpfe anfingen, legte ich das Thier mit der Mundspitze und den Fußzehen auf die beiden Quecksilberoberflächen und wartete ab, bis sich die Schwankungen der Nadel beruhigten. Traten nun Tetanusanfälle von selbst oder nach Reizung der Haut ein, so wich natürlich die Nadel jedoch verhältnißmäßig schwächer als früher ab. Noch bestimmter stellte sich der Einfluß des Tetanus heraus, wenn dieser nicht bloß einen Augenblick dauerte, sondern einige Zeit anhielt. Senkte man dann Mundspitze und Fußzehen in das Quecksilber ein, so entstanden Declinationen von meist nur 10°, während durch Eintauchen der beiden erwähnten Theile außerhalb der Krampfanfälle Abweichungen von 20 — 60° hervorgerufen werden. Wir werden weiter unten noch auf andere hier zu erwähnende Wirkungen zurückkommen.

ζζ. Bei allen bisherigen Versuchen wurde das Galvanometer als Prüfungsmittel der elektrischen Neuromuskularströmungen gebraucht. Legte ich an den Knopf eines Bohnenberger'schen oder eines einfachen Goldblattelektrometers, das sehr empfindlich war, den M. gastrocnemius eines präparirten Froschschenkels, und reizte mit einer Glasspitzenpincette den N. ischiadicus, so entstand in dem Momente der Contraction nicht der geringste Effect auf die Goldblättchen. Einerseits hatte man aber nicht versucht, ob unter dem Einflusse der Muskelcontraction, Eisen in den Stand gesetzt werde, Eisenfeilspähne anzuziehen. Anderseits hatte man nicht geprüft, ob nicht die Neuromuskularströmungen ohne Vermittelung von Elektricitätsströmungen im Eisen Magnetismus erzeugen könnten. Schon Vavas-

---

[1]) A. a. O. p. 82.

seur und Berandi wollten Nadeln magnetisch gemacht haben, indem sie dieselben in Nerven eines lebenden Thieres steckten. Prévost [1]) stach eine feine Stahlnadel durch die Muskeln eines lebenden oder todten, noch mit Reizbarkeit versehenen Frosches längs der Direction der Muskelfasern ein, und brachte die frei hervorstehende Spitze derselben mit Eisenfeilspähnen in Berührung. Die Molecule der letzteren sollen sich dann, wie man unter der Lupe sehe, durch den temporären Magnetismus der Nadel so ordnen, wie wenn sie von einem Magneten angezogen würden. Wenn man bedenkt, welche magnetische Kraft zur Erzielung dieses Ergebnisses nothwendig sei, so hätte man am Galvanometer schon längst Spuren von Neuromuskularströmungen beobachten müssen. In der That kamen auch sowohl der Verfasser [2]) als Peltier [3]) bei Wiederholung der genannten Versuche nur zu durchaus negativen Resultaten.

ηη. Die von Berthold, W. und E. Weber an dem Gauß'schen Apparate angestellten Versuche, beschränken sich auch auf negative Ergebnisse. Die Verfasser sahen nur die erzielten Declinationen vorzüglich als das Resultat thermoelektrischer und weniger als das elektrochemischer Einflüsse an. Dagegen bemerkte Eduard Weber [4]), daß der Magnetstab des Gauß'schen Apparates sich, wenn sich in dessen Nähe ein Muskel zusammenzieht, abweiche.

ϑϑ. Da bei den gewöhnlichen Galvanometern dadurch, daß der Kupferdraht der Windungen an die beiden Bolzen angelöthet ist, und in diesen erst die Kupferbleche haften, ein Theil der Wirkung verloren geht und diese Instrumente noch sensibler würden, wenn man mit den Kupferdrähten selbst operiren könnte, da anderseits es wissenschaftlich wünschenswerth war, einen genauern Apparat, als den von Prévost angewendeten, zu versuchen, so ließ ich Bündel von zehn gleich langen und hufeisenförmig gebogenen Eisenstäbchen mit acht Kupferdrähten, die vorher genau mit Seide umsponnen und mit Kopalfirniß bestrichen waren, und von denen jeder 20 Fuß Länge hatte, umwinden. Die beiden Enden der Drähte wurden metallisch gemacht, und zu Spitzen zusammengedreht. Die Eisenstäbe selbst legte man horizontal, und mit den freien Polenden 1 Zoll weit von dem Nordpole einer sehr sensiblen astatischen Nadel, die über einen in 360° getheilten Kreis schwang, entfernt. Die Empfindlichkeit des Apparates war so groß, daß Schließung der beiden Drahtenden durch ein Zink-Kupferplattenpaar von 1 Quadratlinie Durchmesser eine Abweichung der Nadel um einen bis mehrere Grade erzeugte, und daß dann auch die Spitzen des Hufeisens Eisenfeilpartikelchen anzogen und diese durch Papier hindurch bewegten. Wurden beide Drahtspitzen in einen Muskel oder in Nerv und Muskel gesteckt, so entstanden auch noch deutlich wahrnehmbare Grade von Magnetismus. Nun präparirte ich reizbare Froschschenkel nach Galvani's Methode, steckte den einen Draht in den M. gastrocnemius, den andern durch den N. ischiadicus und wand den letztern um die Drahtspitze herum, so daß ein Stückchen des obern Nervenendes noch frei blieb. Sogleich entstand eine Abweichung der astatischen Nadel. Nun wartete man, bis diese sich fixirte und kneipte dann das freie Ner-

---

[1]) Bibliothèque universelle de Genève. Tome XII. p. 206.

[2]) Repert. III. p. 40. 41.

[3]) Annales des sciences naturelles. Nouvelle Série. Zoologie. Tom. IX. p. 89—96.

[4]) Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis in corpore humano observatis. Lipsiae. 1836. 4. p. 25. 26.

venstück mit der Glaspincette. Es erzeugten sich Contractionen, aber nicht die geringsten Veränderungen der Magnetnadel. Eben so negativ blieben die Resultate, wenn man die beiden Drahtspitzen in den Muskel oder in Muskel und Rückenmark steckte, oder wenn man den Muskel mit einer Spirale von 6—8 Umgängen des achtfachen Drahtes umwand; wurde es so unmöglich, directe electrische Strömungen zu erhalten, so ließ sich natürlich von Inductionsversuchen noch weniger erwarten. Um jedoch auch hier zu experimentiren, wurde ein 1 Fuß langer und 2''' dicker Eisenstab auf die bekannte Faraday'sche Weise mit doppelten Drähten umsponnen. Man erhielt bei diesem Apparate mittelst einer aus zwei runden Zink-Kupferplattenpaaren von 3 Zoll Durchmesser bestehenden Säule, bei welcher destillirtes Wasser als Leiter angewendet wurde, einen inducirten Strom, der an dem Galvanometer 10—12° Declination gab. Tauchten aber die zwei Enden des Einen Drahtes in das Quecksilbernäpfchen des Galvanometers, während die beiden Enden des andern Drahtes in den Muskel gesteckt wurden, so entstand, sobald man den N. ischiadicus drückte und so Contractionen erregte, am Galvanometer auch nicht die geringste Spur eines inducirten Stromes. Eben so negativ blieben die Resultate, man mochte die Drähte um den Muskel herumlegen, in Muskel und Nerv oder in den Nerven allein stecken.

ιι. Daß der Frosch mit anderen Körpern die Eigenschaft theilt, die bekannten Peltier'schen secundären Ströme hervorzurufen, dürfte wohl kein vorurtheilsfreier Naturforscher als Beweis für die Existenz von Neuromuskularströmungen ansehen.

κκ. Es blieb noch zu untersuchen, ob die etwa existirenden Neuromuskularströmungen im Stande wären, chemische Zersetzungen hervorzubringen. Ich legte daher einen befeuchteten Streifen von Jodkaliumpapier, von dessen leichter Braunfärbung am positiven Pole einer kleinen galvanischen Kette ich mich vorher überzeugt hatte, auf eine Glasplatte, auf welcher sich auch der Frosch befand, steckte zwei Platindrähte in den Musculus gastrocnemius des lebenden Thieres und ließ die beiden anderen Enden des Platins auf dem Jodkaliumpapier ruhen. Dieses letztere war so empfindlich, daß es auf eine Zinkkupferplatte von einer Quadratlinie Durchmesser sogleich reagirte. Meistentheils entstand bei dem obigen Froschversuche keine Zersetzung. Allein in einigen Fällen zeigte sie sich, wenn ich das Jodkaliumpapier mit starker Jodkaliumlösung durchfeuchtet hatte, daß nur eine sehr dünne Flüssigkeitsschicht an der Oberfläche war, die beiden Platindrähte mit ihren Enden darauflegte, und nun den M. gastrocnemius, sei es vom unverletzten Thiere oder vom Rückenmarke aus, oder von dem N. ischiadicus aus zu rasch auf einanderfolgenden Contractionen reizte. Es entstand in der Umgebung des Platindrahtes eine schwache bräunlich gelbe Färbung der Flüssigkeitsschicht, die, gleich der braunen, durch stärkere elektrochemische Wirkungen bewirkten Färbung, an der Luft wieder verschwand. Legte ich zwischen dem umgebogenen N. ischiadicus und dem M. gastrocnemius Jodkaliumpapier, so begann schon durch die elektrochemische Spannung chemische Zersetzung. Ob sie, während man den Hüftnerven drückte, stärker wurde oder nicht, ließ sich nicht entscheiden. Wurden dagegen die Contractionen durch eine galvanische Zinkkupfersäule hervorgerufen, so entstanden meist Zersetzungen, die jedoch sich bedeutend verstärkten, wenn die Pole der Säule ohne Vermittelung des ableitenden thierischen Körpers auf das Papier wirkten. Hierher gehört auch noch

ein Versuch von Matteucci [1]). Die Achillessehne einer lebhaften und präparirten Froschextremität wird mit Josephspapier, das mit Jodkaliumlösung getränkt ist, umwickelt. Dadurch, daß man den Unterschenkel gegen den Hüftnerven zurückbiegt, erzeugt man eine Reihe von Zuckungen. Nach einigen Secunden entsteht an den Nervenfäden eine gelbliche Farbe, so daß dann die positive Strömung von dem Nerven zu dem Muskel gehen würde. Einfache Eintauchung des N. ischiadicus in Jodkaliumlösung färbt diesen letztern nicht. Ich habe den Versuch wiederholt, erhielt aber, ich mochte die Contractionen nur durch den Muskel oder durch den Druck des Nerven bewirken, keine Färbung des Nerven, dagegen allerdings eine äußerst schwache braungelbliche Teinte an der Seite, wo der Nerv auflag, während die, welche den Muskel berührte, weiß blieb. Die Färbung war bald verhältnißmäßig ziemlich intensiv, bald nur im Minimum vorhanden und fehlte auch oft gänzlich. Jedenfalls ist es auffallend, daß, da sonst, wie wir gesehen haben, der Muskel gegen den Nerven positiv ist, die Spur chemischer Zersetzung an diesem und nicht an jenem erscheint. Entweder ändert das Jodkalium als chemischer Körper die geringen Contactgegensätze um, oder es findet durch die Contraction eine eigene Spannung Statt, welche ein Minimum von Zersetzung, wie durch den positiven Pol der Säule, hervorruft. Die erstere Annahme dürfte vielleicht noch dahin erläutert werden können, daß das Kalium des Jodkaliums die negative Stelle bestimme. Da nun die Contactspannungen der thierischen Körper überhaupt so äußerst gering sind, und die Berührungsoberfläche am Muskel und die Durchtränkung desselben mit Kali verhältnißmäßig größer ist, als am Nerven, so werde jener eben dadurch negativ, so daß der Nerv als positiver Pol und bräunend auftrete. Dazu könnte noch angeführt werden, daß ich bisweilen, wenn ich bei todten Fröschen feuchtes Jodkaliumpapier auf dem M. gastrocnemius und auf diesem den Hüftnerven liegen ließ, geringe Spuren von bräunlicher Färbung auf Seite des Nerven, nicht aber des Muskels wahrzunehmen glaubte. Jedoch läßt sich wiederum dagegen sagen, daß bei Prüfungen am Galvanometer, welche nach der oben bei den contactelektrischen Erscheinungen beschriebenen Methode vorgenommen wurden, der Muskel zum Nerven positiv blieb, man mochte ihn allein oder den Nerven allein oder beide mit Jodkaliumlösung imprägniren.

β. Reine neuroelektrische Strömungen. Hier sollte das in dem Innern der Nervenprimitivfasern selbst während der sensuellen und sensiblen Actionen centripetal, während der Bewegung centrifugal strömende Agens im Stande sein, elektrische oder magnetische Strömungen hervorzurufen oder elektrochemische Zersetzungen zu erzeugen. Als Gründe, welche zu Versuchen über diesen Punkt anregen, können 1) die Aehnlichkeit der isolirten Leitung des Nervenfluidums in den peripherischen Primitivfasern mit der isolirten Leitung elektrischer Ströme in Drähten, welche mit Seide umsponnen oder auf andere Weise isolirt sind; 2) die so sensible Erregung der Strömungen des Nervenfluidums durch elektrische Ströme; und 3) das noch weiter unten zu besprechende Gesetz, daß die Richtungen der eingeleiteten elektrischen und der Neurofluidalströmungen zusammenfallen, daß centripetale elektrische Ströme Schmerz, centrifugale Bewegung erregen. Auf den ersten Blick dürften aber zwei Umstände alle Bemühungen der Art vergeblich zu machen scheinen. 1) Die Feuchtigkeit der thierischen Theile. Denn isoliren wir auch den Nerven gänzlich und legen ihn auf

[1]) A. a. O. p. 79.

eine Glasplatte, so können wir es doch nicht verhindern, daß das in ihm enthaltene Wasser ableitend wirke, die Strömung weiter nach den anderen Theilen verbreite und ihre Effecte auf das Galvanometer entweder ganz aufhebe oder wenigstens sehr bedeutend schwäche. 2) Da die Scheide der peripherischen Primitivfasern für das Nervenfluidum isolirend wirkt, so könnte sie vielleicht sich auf gleiche Art gegen die den Nerven berührenden Leiter verhalten. Nun ist es aber unmöglich, daß wir den Leiter in den Primitivfaserinhalt einbringen. Wir können daher auch nicht das Galvanometer mit den Strömungen des Nervenfluidums in andere als mittelbare und vielleicht isolirende Berührung bringen. Es bliebe daher Nichts übrig, als die Versuche da, wo keine Isolation der Primitivfasern stattfindet, d. h. am Gehirn und Rückenmark zu machen. Hier trete jedoch wieder die unabweisliche Feuchtigkeit als unwiderstehliches Hinderniß entgegen. Gegen diese beiden Arten von Einwendungen lassen sich aber auch Gegenfacta und Gegengründe vorbringen. Wir werden bald sehen, daß durch eine einfache Versuchsmethode die Ableitung der Feuchtigkeit ohne wahrscheinliche gänzliche Aufhebung der Strömung des Nervenfluidums eliminirt werden kann. Es müßten daher Versuche der Art wenigstens am Gehirn und vorzüglich am Rückenmarke gelingen, wenn selbst die Isolirtheit der peripherischen Primitivfasern einen unübersteiglichen Damm entgegensetzte. Daß das Letztere aber nicht der Fall sei, dafür ließen sich zwei Gründe anführen. 1) Werden die von Außen eingeleiteten elektrischen Ströme durch die isolirenden Scheiden der peripherischen Primitivfasern weder abgehalten, noch in ihrer Richtung verändert. 2) Sehen wir, daß, wo eine elektrische Strömung in eine magnetische umgewandelt wird, die Isolation der erstern das freie Erscheinen der letztern durchaus nicht stört. Das Eisen, welches sich in der Nähe des langen, mit Seide umsponnenen und gefirnißten und isolirten Kupferdrahts befindet, wird, wenn durch den letztern ein elektrischer Strom durchgeht, auf der Stelle magnetisch. Es ist daher jedenfalls, so viel Gründe sich auch a priori dafür und dawider anführen lassen, wenigstens experimentell zu prüfen, ob reine neuroelektrische Ströme vorhanden seien oder nicht.

αα. Die bis jetzt gangbare Methode bestand darin, daß man zwei Platindrähte, welche in die Quecksilbernäpfchen des Galvanometers tauchten, mit ihren freien Enden in zwei longitudinal distante Punkte des Nerven steckte und nach Beruhigung der Magnetnadel die motorischen Primitivfasern des Nerven oberhalb der Einstichsstelle reizte. Die früheren Versuche von Person, Joh. Müller, dem Verfasser, Breschet und Becquerel, Bischof und Joly fielen durchaus negativ aus. Ich habe dasselbe Experiment an dem oben erwähnten sehr sensiblen Schröder'schen Galvanometer mit Platinblechen, kurzen und 1½ Fuß langen und ½ Linie dicken Platindrähten wiederholt. Die Magnetnadel zeigte, während die heftigste Contraction erfolgte, auch nicht ein Minimum von Bewegung. Dieselben negativen Resultate erfolgten, wenn an einem enthaupteten Frosche alle Theile des Oberschenkels bis auf den N. ischiadicus entfernt, die beiden Platindrähte in den Nerven, seiner Längendistanz nach eingesteckt und durch Reizung des Rückenmarks mittelst eines Glasstabes Convulsionen erzeugt wurden.

ββ. Bekanntlich verläuft der durch eine elektrische Strömung erregte magnetische Strom nicht in gleicher Ebene mit jener, sondern in einer Direction, welche auf der erstern senkrecht steht. Nun haben wir oben bewiesen,

daß auf die ganz gleiche Weise die während der Entladung stattfindende elektrische Strömung der Zitterfische auf der Strömungsebene des Nervenfluidums senkrecht ist. Man könnte sich daher denken, daß, indem die Strömung des Nervenfluidums elektrische Spannungsströmungen erzeugte, etwas Aehnliches stattfinde. Die beiden Drahtspitzen müßten daher mit ihrer kürzesten Distanz die longitudinale Richtung der Primitivfasern senkrecht schneiden, wenn Effecte am Galvanometer wahrgenommen werden sollten. Deshalb umwickelte ich den isolirten N. ischiadicus mit feinem Kupferdraht, dessen beide Enden in die Quecksilbernäpfe des Galvanometers tauchten. In anderen Versuchen nahm ich feinen mit Seide umsponnenen Kupferdraht und bildete entweder eine einfache Querschlinge um den Nerven oder umspann diesen spiralig. In allen diesen Fällen entstanden, wenn ich den Nerven oberhalb der Druckstelle reizte, gar keine oder nur eine äußerst schwache, nicht 1° betragende und deßhalb kaum in Anschlag zu bringende Abweichungen.

$\gamma\gamma$. Da, wie schon oben bemerkt wurde, die in dem Nerven enthaltene Feuchtigkeit, wenn dieser auch immerhin auf einer trocknen Glasplatte möglichst isolirt ist, die elektrischen Strömungen leiten müßte, so untersuchte ich abgeschnittene Nerven, deren dem Centrum näheres Ende gereizt wurde. Daß keine Muskeln mehr vorhanden waren, konnte, da durch das Durchschneiden nicht augenblicklich alle Reizbarkeit schwindet, für die Wahrnehmung reiner neuroelektrischen Strömungen Nichts ausmachen. Alle Resultate fielen durchaus negativ aus, obgleich ich mit freien Longitudinal- oder Querdrähten, einfachen oder umwickelten Drähten operirte oder den Nerven selbst spiralig um den geraden Draht herumwickelte. Eben so wenig erhielt ich durch die gleichen am isolirten Rückenmarke der Frösche angestellten Versuche ein Ergebniß. Hier rührte sich die Nadel sogar in allen Fällen nicht im mindesten.

$\delta\delta$. Da Ligatur eines Nerven den weitern Fortgang des Nervenfluidums hemmt, und es sich daher zwischen der Reizungs- und der Unterbindungsstelle anhäufen muß, so experimentirte ich mit unterbundenen Nerven. Es blieben aber auch dann alle Versuche gleich negativ.

$\varepsilon\varepsilon$. Auch mit thermoelektrischen, aus Kupfer und Eisen zusammengelötheten Drähten mit endständigen Löthungsstellen angestellte Experimente, die ich sowohl zur Prüfung von reinen neuroelektrischen, als von Neuromuskularströmungen anwandte, fielen negativ aus. Eben so negative Ergebnisse resultirten, wenn man zwei übersilberte Kupferdrähte in ihrer Hälfte zu Einem Drahte zusammenflocht, die beiden gabeligen Enden in die Quecksilbernäpfe des Galvanometers tauchen ließ und das einfache Ende in den Nerven steckte.

$\zeta\zeta$. Endlich wiederholte ich alle eben angeführten Modificationen des Versuchs sowohl mit dem N. ischiadicus als mit dem Rückenmarke an dem Quecksilberapparate des Galvanometers selbst. Meist erfolgte keine Ablenkung der Nadel, wenn das Rückenmark oder der Nerve gedrückt wurden. Allein bisweilen trat eine solche ein. Die Theile wurden auf die Quecksilberoberflächen gelegt. Der Druck auf den Nerven wurde erst angebracht, als die Magnetnadel sich vollkommen beruhigt hatte. So z. B. wich in einem Falle die Nadel nach dem Auflegen um $+ 20{,}5^{\circ}$ ab, ruhte auf $+ 12^{\circ}$ und rückte bei Druck des Nerven bis $15{,}5^{\circ}$. Obgleich hier dasselbe gilt, was von der Contactelektricität bemerkt worden, und daher der Quecksilberapparat den Apparaten mit festen metallischen Leitern vorzuziehen ist, so bin ich doch weit entfernt, auf jene Abweichungen deßhalb Schlüsse zu bauen,

weil sie einerseits öfter fehlen, als vorhanden sind, und weil der Apparat, wenn er gut eingerichtet ist, eine solche Empfindlichkeit hat, daß die geringste Verrückung der organischen Theile und die dadurch erzeugte neue Berührung und Spannung Declinationen hervorruft.

ηη. Alle obigen Versuche wurden auch, gleich den neuroelektrischen, mit dem oben beschriebenen umsponnenen Hufeisen wiederholt. Die Resultate waren durchgängig negativ.

Resumiren wir nun alle Ergebnisse, so müssen wir aus ihnen den Schluß ziehen, daß die Physik noch kein sicheres Mittel an die Hand giebt, Neuromuskularströmungen oder die in dem Nerven sich fortpflanzenden Wellen des Nervenfluidums in elektrische und diese in magnetische umzuwandeln, oder richtiger gesagt, die einen durch die anderen zu erregen oder durch die erzeugten elektrischen Strömungen chemische Zersetzungen hervorzurufen. Gleich neckenden Irrlichtern traten bei den zahlreichen Versuchen einzelne Spuren auf, die sich jedoch theils nicht allgemein bewährten, theils auch in anderen Ursachen ihren Grund haben konnten, theils immer nur unbestimmte Fingerzeige liefern. Zu den inconstanten Erscheinungen gehören die bisweilen vorkommende schwache Zersetzung des Jodkaliums oder der Jodkaliumstärke durch Muskelcontraction, die jedoch vielleicht in der durch Reibung erhöhten galvanischen Thätigkeit ihren Grund haben kann, die an dem Quecksilberapparate durch Druck des Nervens wahrgenommenen geringen Abweichungen, welche jedoch durch mechanische Verrückungen entstehen können, und die nach W e b e r erscheinenden Schwankungen des Magneten des Gauß'schen Apparats, wenn sich in dessen Nähe ein Muskel zusammenzieht. Bedenkt man, daß die Haut ein so kräftiger Isolator ist, so hat es nicht viel Wahrscheinliches, daß die entstehenden Strömungen, wenn sie gar existirten, so nach Außen wirkten, daß Bewegungen des Magneten entständen. Zu Fingerzeigen dürften eher die Verhältnisse des Tetanus und des Strychnins führen. Da bei dem Starrkrampfe oft die Abweichungen viel geringer gefunden wurden, als bei gesunden oder nicht in Tetanus befindlichen Fröschen, so dürfte hier wenigstens Ein Factum entgegentreten, wo durch Neuromuskulaturverhältnisse Veränderung der Contactelektricitätsströmungen eintreten. Im Betreff des Strychnins hatte ich in einer ersten Versuchsreihe gefunden, daß Frösche, bei welchen ich vorher die constanten contactelektrischen Verhaltnisse bestimmt und die ich dann mit Strychnin vergiftet hatte, ihre Strömungsrichtung entweder bei unverletzter Haut oder nach dem Abziehen derselben umkehrten. Allein nachdem ich dieses Gesetz bei 144 Galvanometer-Bestimmungen constant gefunden zu haben glaubte, stieß ich später auf solche Ausnahmen, daß ich an der Richtigkeit des scheinbar Gesetzlichen sehr zweifelte, da sich einerseits bei anderen Fröschen die Umkehrung nicht zeigte, anderseits, wie schon oben bemerkt wurde, auch bei anderen Fröschen das bloße Abziehen der Haut die Polaritäten umändert und die positive Rolle den Füßen zuwendet. In seinen contactelektrischen Verhältnissen ist das Strychnin im Verhältniß zu destillirtem Wasser, zu Muskeln und vielleicht den Nerven elektropositiv, im Verhältniß zu concentrirter Kochsalzlösung negativ. Hätte es aber auch, was sich jedoch nicht beweisen läßt, eine eminent elektropositive Eigenschaft, so würde dieses zwar das Erscheinen der centrifugalen Nervenströmungen und der Krämpfe gewissermaßen erklären, bewiese aber Nichts für die vorliegende Frage, da dann durch den Contact des Strychnins mit den weichen thierischen Theilen ein elektropositiver centrifugaler Strom entstände.

Es bleibt daher als Hauptgrund der Vermuthung, daß durch Strömungen des Nervenfluidums auch elektrische Ströme erzeugt werden können, die große Empfindlichkeit der Nerven gegen Elektricität. Wir wissen, daß die Strömungen des Lichts, der Wärme, des Magnetismus, der Elektricität und der chemischen Zersetzung unter gewissen Bedingungen einander erregen. Wir sehen, daß elektrische Ströme Strömungen des Nervenfluidums hervorrufen. Der Schluß, daß auch das Entgegengesetzte stattfinden könne, hat so viel Fesselndes, daß wir mit mehr Wahrscheinlichkeit die unzureichenden Mittel der gegenwärtigen Physik, als die Unmöglichkeit jener Umwandlung für den Grund der bisher fast stets negativen Versuchsresultate anzusehen geneigt werden. Diese Annahme wird noch durch die Geschichte der Elektricitätserkenntniß der elektrischen Fische unterstützt. Als schon der Elektromagnetismus entdeckt, als schon das Galvanometer erfunden war, neigte sich einer der ersten Physiker und Chemiker Englands, H. Davy, nach seinen am Zitterrochen angestellten Untersuchungen zur Annahme einer eigenen organischen Elektricität hin. Wenige Jahre später entfernten die Bemühungen zahlreicher Physiker jeden scheinbaren Unterschied zwischen der physikalischen Elektricität und der der Zitterfische. Es könnte sich leicht dasselbe in Betreff der neuralen oder Neuromuskularströmungen wiederholen. Ich bin individuell überzeugt, daß man früher oder später eine Methode finden wird, um durch die Neuralströme elektrische Ströme zu erzeugen. Allein diese ganze Sache hat ein mehr theoretisches Interesse und besitzt überhaupt nicht mehr die Wichtigkeit, welche man ihr beilegt, da wir jetzt schon bestimmt wissen, daß Nervenfluidum und Elektricität eben so wenig identisch sind, als Elektricität und Magnetismus. Hierfür haben wir den definitiven Beweis in den elektrischen Fischen. 1) Die Natur hatte es hier zur Absicht, diesen Thieren die elektrischen Entladungen als Waffen zu geben. Wären die Neuralströmungen elektrische, so brauchte sie keine elektrische Organe zu construiren; sie brauchte nur in einer nervenreichen Gegend einen Condensator oder Multiplicator anzubringen, um ihren Zweck zu erreichen. Eben so wenig als wir aber durch Condensation oder Multiplication der Strömung des Nervenfluidums bis jetzt stärkere elektrische Ströme zu erzeugen vermochten, eben so wenig gebraucht die Natur ein solches Mittel. Sie erzeugt vielmehr in den elektrischen Organen wahrscheinlich Analoga galvanischer Batterien. 2) Wir haben gesehen, daß im Momente der Entladung der positive elektrische Strom auf der Strömungsebene des Nervenfluidums senkrecht steht, gerade wie die Ebene der durch eine elektrische Strömung erregten magnetischen Strömung die Ebene des erregenden Elektricitätsstroms senkrecht schneidet. Daß aber hiermit das Marianini'sche Gesetz, daß die positiven centripetalen elektrischen Strömungen centripetale, die centrifugalen centrifugale Strömungen des Nervenfluidums zur Folge haben, nicht im Widerspruche stehen, werden wir in der Folge (s. d. Art. Galvanismus) beweisen. Sind aber Elektricität und Nervenfluidum nicht identisch, sondern können sie nur, wie andere allgemeinere Agentien einander wechselseitig erregen, so ist die Hauptentdeckung dieses Gebiets, wie man leicht sieht, schon längst gemacht worden. Schon seit Jahrhunderten kannte man Phänomene der Wärme, des Magnetismus, der Elektricität. Als aber die erste Beobachtung gemacht wurde, daß ein elektrischer Strom die Magnetnadel afficire, wurde die Bahn zu der fruchtbaren Idee gebrochen, daß diese allgemeinen Naturagentien einander erregen und bedingen können. Der Zusammenhang der Thätigkeit der galvanischen Kette mit elektrolyti-

schen Kräften hatte gewissermaßen auch schon darauf vorbereitet. Allein die Entdeckungen des Thermomagnetismus der magnetelektrischen Induction bildeten nur die ingeniösen Bestätigungen nothwendiger, früher aufgestellter theoretischer Vermuthungen. Seit der Zeit, wo man weiß, daß elektrische Strömungen Neuralströmungen erregen, ist auf diesem Felde des Wissens dasselbe, was die Entdeckung des Elektromagnetismus bot, gewonnen worden. Künftige Beobachter, welche die Erregung elektrischer Strömungen durch Strömungen des Nervenfluidums experimentell nachweisen werden, werden sich das Verdienst erwerben, einen fast unabweislichen theoretischen Analogieschluß zu seinem wahren Werthe zu erheben, d. h. durch die Erfahrung zu bekräftigen.

Wichtigste Literatur.

I. Zitterfische. A. Zitterrochen. Stef. Corenzini osservazioni intorno alle torpedini. Firenze 1678. 4. — M. Girardi, in Memorie di Matematica e Fisica della Società italiana. Tom. III., p. 353 — 570. — Walsh, in Philosophical Transactions. 1773. P. II., p. 461 — 467 u. 1774. p. 464 — 73. — John Hunter, ebendas. 1773. P. II., p. 481 — 489. — Ingenhouſs, ebendas. 1775. p. 481. — Pringle, ebendas. 1775. 1 — 4 u. On the Torpedo. London 1783. — Alex. von Humboldt, u. Gay-Lussac, Annales de chimie. Vol. 56. p. 18. — Todd, Philosophical Transactions. 1816. p. 120 — 126. — Rudolphi, in den Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königl. Preuß. Akademie der Wissenschaften. Aus den Jahren 1820 und 1821. Berlin 1822. 4. S. 223 — 231. — H. Davy, Philosophical Transactions. 1829. p. 15 — 18. — John Davy, ebendas. 1834. p. 531 — 550. — Colladon, in Froriep's Notizen, Nr. 1093. S. 229. — Linari, ebendas. Nr. 1081. 35. L'institut Nr. 167. 235. — (Antinori) Bibliothèque universelle de Genève. Tom. VII., p. 407. Tom. VIII. p. 395 — 397 u. Froriep's neue Notizen, Nr. 191. 225 — 232. — Matteucci in Froriep's Notizen, Nr. 927. S. 35 u. Nr. 1003. S. 193. — Bibliothèque universelle de Genève. Tom. XII., p. 163 — 204. — Annales des sciences naturelles. Nouvelle Série, Zoologie. 1837. p. 193 — 224. — Froriep's neue Notizen. Nr. 145 S. 193 — 201, Nr. 185. S. 129 — 133 und Essai sur les phénomènes électriques des animaux. Paris. 1840. 8. — Delle Chiaje anatomiche disamine sulle torpedini. Napoli. 1839. 4.

B. Zitteraal. Williamson, in Philosophical Transactions. P. I. 1775. p. 94 — 101. — Garden, ebendas. p. 102 — 110. — John Hunter, ebendas. 1775. 4. P. II. p. 395 — 407. — S. Fahlberg, Kongl. Vetensk. Academiens Nya Handlingar. 1801. P. II., p. 122 — 156. — Alex. v. Humboldt, Recueil d'observations de Zoologie et d'Anatomie comparée. Vol. I., Paris. 1811. 4. p. 49 — 92. — Rudolphi, in den Abhandlungen der Berliner Akademie. Aus den Jahren 1820 u. 1821. a. a. O. — Faraday, in Philosophical Transactions. 1839. Vol. I., p. 1 — 12 u. in Poggendorff's Annalen. 1840. Ergänzungsband. p. 389 — 405. — Schönbein, Beobachtungen über die elektrischen Wirkungen des Zitteraales. Basel. 1841. 8.

C. Zitterwels. E. Geoffroy St. Hilaire, Annales du Muséum d'histoire naturelle. Tom. I. p. 392 — 407. — Rudolphi, Abhandlungen

der Berliner Akademie 1824. S. 191 — 198. — Joh. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen. Dritte Auflage. Coblenz 1837. Thl. I., S. 66, 67. — Valenciennes, in Annales des sciences naturelles. Nouvelle Série, Zoologie. Tom. XIV., p. 241 — 244.

Außerdem über die Anatomie der elektrischen Organe aller genannten Zitterfische s. die bekannten vergleichenden Anatomieen von Cuvier, Carus, Rudolph Wagner. Vergl. noch den von Coldstream bearbeiteten Artikel: Animal electricity in Todd, Cyclopaedia of Anatomy and Physiology. Vol. II., London 1839. 8. p. 81 — 98. — In Betreff der unbekannteren elektrischen Fische sind die Quellen: 1) für den angeblichen elektrischen Rhinobatus, Marcgrav, hist. brasil. p. 152. 2) Für Tetrodon electricus, W. Paterson, in Phil. Transact. 1786. P. II., p. 382 u. für Trichiurus electricus, Nieuhoff, Zee en Lant Reize door West- en Ostindien. Amst. 1682. Fol. p. 270.

II. Elektricitätsströmungen anderer Thiere. Außer den über Elektricität und Galvanismus, so wie den über Physiologie handelnden neueren Werken s. Alex. von Humboldt, über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Bd. I. S. 159. — Pfaff und Ahrens, in Meckel's Archiv. Bd. III., S. 161. — Vavasseur u. Berandi, in Froriep's Notizen. Nr. 538. — Pouillet, in Magendie Journal de Physiologie. Tom. V. p. 5. — Person, ebendas. Tom. X. p. 216. — Donné, Annales des sciences naturelles. 1834. Févr. — Bellingeri, in Memorie della reale Academia di scienze di Torino. Vol. XXXI. p. 295 — 318 u. in Froriep's Notizen. Bd. XIX., S. 177. — Sterneberg, Experimenta quaedam ad cognoscendam vim electricam nervorum atque sanguinis facta. Bonnae. 1835. 4. — G. Valentin, in Hecker's neuen Annalen. Bd. I. S. 473. — Folchi, in Froriep's Notizen. Nr. 950. S. 55. — Ed. Weber, Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis in corpore humano observatis. Lipsiae. 1836. 4. — Berthold, W. u. Ed. Weber, in Holscher's Annalen. Bd. II., S. 126 — 131. — Prévost, in Bibliothèque universelle de Genève. Vol. XII. p. 206. — Matteucci, in Froriep's neuen Notizen. Nr. 145. S. 193 — 201 und in s. oben angeführten Essai. — Heidenreich in Froriep's neuen Notizen. Nr. 212. 222. 223. — Massay in Fricke's und Oppenheim's Zeitschr. Bd. X. S. 409. — F. Capitaine, de l'influence des courants électriques sur les corps organisés et de leur production spontanée pendant la vie. Paris. 1839. 4. — P. G. Grimelli, osservazioni e esperienze elettro-fisiologiche dirette ad istituire la elettricità medica. Modena. 1839. 8. — F. Puccinotti e L. Pacinotti esperienze sulla esistenza e le leggi delle correnti elettro-fisiologiche negli animali a sangue caldo. Pisa. 1839. 8. — P. Fario e F. Zantedeschi esperienze intorno alle correnti ellettro-fisiologiche negli animali a sangue caldo. Venezia. 1840. 8. —

G. Valentin.